UNIVERSITY
OF
TORONTO
LIBRARY

Digitized by the Internet Archive
in 2026 with funding from
University of Toronto

https://archive.org/details/dunkelfeldbeleuc00gaid

Biol. Micros.

DUNKELFELDBELEUCHTUNG

UND

ULTRAMIKROSKOPIE

IN DER

BIOLOGIE UND IN DER MEDIZIN

VON

N. GAIDUKOV.

MIT 13 ABBILDUNGEN IM TEXT, 3 LICHTDRUCK- UND 2 CHROMOLITHOGRAPHISCHEN TAFELN.

120695
5 | 2 | 12

VERLAG VON GUSTAV FISCHER IN JENA
1910.

Alle Rechte vorbehalten.

Vorwort.

Die Aufgabe des vorliegenden Werkes war, eine zusammenfassende Darstellung der bisherigen Untersuchungungen bei Dunkelfeldbeleuchtung und in der Ultramikroskopie für Biologen und Mediziner zu geben. Die bis jetzt erschienenen, ausgezeichneten zusammenfassenden Darstellungen der Ultramikroskopie von Zsigmondy (siehe Literaturverzeichnis[2]) und von Cotton und Mouton[1]) sind hauptsächlich den Resultaten ultramikroskopischer Untersuchungen auf dem Gebiete der Physik und Chemie, aber nicht denen auf dem Gebiete der Medizin und Biologie gewidmet. Deswegen habe ich in diesem Werke die ultramikroskopischen Untersuchungen auf dem Gebiete der beiden erstgenannten Wissenschaften nur wenig berührt, die Resultate medizinischer und biologischer Untersuchungen aber sehr ausführlich besprochen.

Ich hielt es aber für unnötig, auf die Einrichtungen für Dunkelfeldbeleuchtung und Ultramikroskopie selbst und ihren richtigen Gebrauch näher einzugehen, da diese Apparate ja ausführlich in den Prospekten der Firmen, welche sie fabrizieren, besprochen werden. Besonders genau und ausführlich sind in dieser Beziehung die betreffenden Beschreibungen und Gebrauchsanweisungen der Firma Carl Zeiss. Ich habe daher nur kurz in der Einleitung die Prinzipien der Dunkelfeldbeleuchtung und Ultramikroskopie und die gebräuchliche Nomenklatur erwähnt. Die optischen Grundlagen der Ultramikroskopie sind in den zahlreichen physikalischen Abhandlungen von Siedentopf, des Erfinders der ultramikroskopischen Apparate und Mitarbeiter von Zsigmondy eingehend entwickelt. Ich verweise insbesondere auf seine jüngste Abhandlung: „Über einen neuen Fortschritt in der Ultramikroskopie", Verh. Deutsch. physik. Ges., Bd. XII, S. 6—48 (1910), die während der Drucklegung dieses Buches erschienen ist und deren Ergebnisse für zahllose photochemische Prozesse von fundamentaler Bedeutung zu werden versprechen.

Ferner glaubte ich, von einer allgemeinen Charakteristik der Kolloide absehen zu dürfen. Alle nötigen Kenntnisse über Kolloidchemie kann jeder Biologe und Mediziner aus dem ausgezeichneten

Vortrag von Zsigmondy[3]) erhalten. Auch die große Bedeutung, welche die Kolloidchemie für Biologie und Medizin hat, können die Vertreter dieser Wissenschaften aus den hochinteressanten Schriften von W. Pauli (s. S. 5) ersehen. Dagegen schien es mir angebracht, im Kapitel II zu zeigen, welche Bedeutung in der Geschichte der Kolloidchemie und sogar der Ultramikroskopie die Arbeiten des berühmten Botanikers K. v. Nägeli haben. In diesem Kapitel ist auch die Struktur der Kolloide besprochen worden.

Das Kapitel III beschäftigt sich mit den ultramikroskopischen Untersuchungen flüssiger Kolloide, welche für die Biologen und die Mediziner von Interesse sind. Im Kapitel IV ist die Anwendung der Dunkelfeldbeleuchtung bei der Untersuchung solcher mikroskopischen Objekte, welche hauptsächlich die Mediziner angehen, geschildert. Das Kapitel V ist der Anwendung der Dunkelfeldbeleuchtung in der Bakteriologie und das Kapitel VI meinen eigenen Untersuchungen botanischer Objekte gewidmet. Im Kapitel VII werden die im vorigen Kapitel mitgeteilten Tatsachen theoretisch erläutert. Das Kapitel VIII endlich berichtet von den Untersuchungen der Spinnfasern. Am Schlusse des Werkes gebe ich sodann noch eine Zusammenfassung des Besprochenen und ein Verzeichnis der Literatur der Dunkelfeldbeleuchtung und Ultramikroskopie.

Es sind seit der Entstehung der Ultramikroskopie kaum 7 Jahre verflossen. Ungeachtet dessen besitzt diese Disziplin schon eine bedeutende Literatur, welche unaufhörlich wächst. Fast jede neue Nummer vieler Fachzeitschriften bringt neue Arbeiten, in welchen von der Ultramikroskopie oder der Dunkelfeldbeleuchtung die Rede ist. Beim Referieren dieser Arbeiten ist die Gefahr vorhanden, mit dem Referate nie fertig zu werden, da immer neue Arbeiten erscheinen. Deshalb habe ich beschlossen, nur die mir bekannten Arbeiten zu referieren, welche bis etwa zur zweiten Hälfte des Jahres 1909 erschienen sind.

Da ich als Ausländer die deutsche Schriftsprache nicht völlig beherrsche, war es mir nicht immer leicht, die richtige Darstellung zu finden. Wenn sich in dieser Beziehung hier und da noch Mängel finden sollten, so bitte ich darüber hinwegsehen zu wollen.

Für wertvolle Ratschläge in bezug auf die Abfassung des Textes und für das Lesen der Korrektur spreche ich meinem verehrten Kollegen Herrn Dr. J. Ehlers meinen besten Dank aus.

Jena, Dezember 1909.

Inhalt.

Seite

I. **Einleitung.**
1. Prinzipien und Nomenklatur 1
2. Verschiedene Typen der Apparate 2

II. **Die Struktur der Kolloide.**
1. Die Kolloide und Micellartheorie 4
2. Die Struktur der Sole und der Gele. Wabentheorie 10
3. Das Protoplasma als Kolloid 14

III. **Ultramikroskopische Untersuchungen von Sera und von Lösungen des Eiweißes und der Kohlehydrate.**
1. Untersuchungen von Rählmann (Eiweiß, Glykogen, Farbstoffe) . . . 16
2. „ „ v. Behring, Much, Römer und Sieber (Eiweiß, Sera, Urin usw.) 21
3. „ „ Michaelis und Pinkussohn (Eiweiß, Farbstoffe usw.) 21
4. „ „ Gatin-Gružewska, Biltz u. a. (Glykogen Stärke usw.) 23
5. „ „ Lemanissier (Hämoglobin, Urin, Eiweiß, Milch usw.) 23
6. „ „ Kreidl und Neumann (Milch) 24
7. „ „ Dujardin-Beaumetz (Präzipitation) 24
8. „ „ Aggazzotti (fermentative Prozesse) 24
9. „ „ Ruhland (Farbstoffe usw.) 24
10. Bedeutung der Ultramikroskopie für Chemie und Physiologie 25

IV. **Untersuchungen des Blutes, der Tierzellen, der Spermien, der Augenmembranen usw.**
1. Untersuchungen des Blutes von Rählmann, Michaelis, Rosenthal, Davis, Dietrich, Scheffer, Beer, Neumann u. a. 25
2. Untersuchungen des Harnes (Spermien usw.) von Posner und Scheffer 29
3. „ der Augenmembranen von Peschel 30
4. „ des Pigmentepithels von Rählmann 30

V. **Bakteriologische Untersuchungen.**
1. Untersuchungen mittels Ultramikroskopes nach Siedentopf und Zsigmondy und des Ultramikroskopes nach Siedentopf:
a) Untersuchungen von Rählmann 31
b) Mikrophotogramme von Siebert 34
c) Eigene Untersuchungen 34
d) Untersuchungen von Molisch 41
e) Sichtbarmachung von Spirochaete pallida (Hofmann) 43
f) Untersuchungen von Otto und Neumann 43

2. Untersuchungen mit den Apparaten nach dem Prinzip der Abblendung im Kondensor:
a) Erreger der Peripneumonie der Rinder (Cotton und Mouton) . . 43
b) Spirochaete pallida (Landsteiner, Mucha, Verfasser, Siedentopf, Spiethoff, Beer, Arning, Klein u. a.) 43
c) Geißeln der Bakterien (eigene Beobachtungen und Untersuchungen von Reichert) 45
d) Kinematographie 48
e) Bedeutung der Dunkelfeldbeleuchtung in der Bakteriologie 48

VI. Eigene Untersuchungen botanischer Objekte.
1. Vorbemerkungen 49
2. Blumenstaubhaare von Tradescantia 50
3. Myxomyceten 51
4. Spirogyra und Mesocarpus 52
5. Vaucheria, Cladophora, Oedogonium und Stigeoclonium 53
6. Desmidiaceen und Diatomeen 55
7. Oscillarien und Porphyridium 56
8. Flagellaten 57
9. Hefe 57
10. Nitella, Vallisneria und Moose 58
11. Stärkekörner und Zellmembranen 58
12. Chlorophyll, Karotin und Anthocyan 59

VII. Über die Kolloide der Pflanzenzellen 60

VIII. Untersuchungen der Spinnfasern.
1. Untersuchungen von Schneider und Kunzl 67
2. Eigene Untersuchungen 67

IX. Zusammenfassung 73

X. Ultramikroskopische Literatur 74

Die Ziffern im Texte hinter den Namen sind die Nummern des Literaturverzeichnisses, unter welchen die Arbeit aufgeführt.

I. Einleitung.

Die Sichtbarmachung der Teilchen, die außerhalb der Grenze des Abbildungsvermögens des Mikroskopes liegen, beruht nicht auf der Anwendung hoher mikroskopischer Vergrößerungen, sondern auf Kontrastwirkung, welche ihr Maximum erreicht bei vollkommener Dunkelfeldbeleuchtung. Letztere verlangt, daß von den beleuchtenden Strahlen keiner im Okulargesichtsfelde des Mikroskopes direkt wirksam ist, sondern daß die Abbildung lediglich durch Strahlen erfolgt, welche im Objekt abgebeugt werden. Dieses erscheint dann hell auf dunklem Grunde. Ist das Objekt nach allen Richtungen hin kleiner als $\frac{\lambda}{a_1 + a_2}$, worin λ die Wellenlänge des benutzten Lichtes, a_1 bzw. a_2 die Aperturen des abbildenden Objektives und des Kondensors bezeichnen, also kleiner als etwa 200 $\mu\mu$ (Millionstelmillimeter), so wird es abgebildet als rundes, helles Beugungsscheibchen, welches je nach der Intensität von einem oder mehreren Beugungsringen umgeben ist, genau wie die Abbildung von Fixsternen im Teleskop erfolgt.

Diese Teilchen sind nach Siedentopf „ultramikroskopisch" und liegen im ultramikroskopischen Gebiete. Je nachdem das ultramikroskopische Teilchen sich sichtbar machen läßt oder nicht, wird es „submikroskopisch (bis ca. 5 $\mu\mu$) oder „amikroskopisch" genannt. Um nicht immer von Teilchen sprechen zu müssen, hat Zsigmondy[2]) im Anschlusse an den Vorschlag von Siedentopf vorgeschlagen, die ultramikroskopischen Teilchen als „Ultramikronen", die submikroskopischen als „Submikronen" oder „Hypomikronen" und die amikroskopischen als „Amikronen" zu bezeichnen. Die Körper, welche auch bei vollkommenster Dunkelfeldbeleuchtung dunkel und homogen erscheinen, sind als optisch leer zu bezeichnen.

Es gibt weiter eine Reihe von Objekten, die nur in einer Dimension ultramikroskopisch sind. Diese Objekte sind als halbultramikroskopisch zu bezeichnen.

Das Haupterfordernis für die Sichtbarmachung ultramikroskopischer Teilchen ist eine gute Dunkelfeldbeleuchtung. Da die neuen Dunkelfeldbeleuchtungs-Einrichtungen fast sämtlich für die Untersuchung ultramikroskopischer Teilchen mehr oder weniger geeignet sind, ist es

vielfach üblich geworden die Beobachtung bei Dunkelfeldbeleuchtung einfach als Ultramikroskopie und die dazu verwandten Apparate als Ultramikroskope zu bezeichnen.

Die Dunkelfeldbeleuchtung kann durch Abblendung in einem gewöhnlichen oder einem speziell dafür konstruierten Kondensor, durch Abblendung im Beobachtungsobjektiv und durch Seitenbeleuchtung erzielt werden.

1. Abblendung im Kondensor. Hierbei wird die Dunkelfeldbeleuchtung dadurch erreicht, daß im Mikroskopfokus die beleuchtenden Strahlen, welche so begrenzt sind, daß sie die numerischen Aperturen von etwa 1.1 bis 1.4 haben, so verlaufen, daß sie sämtlich an der Oberfläche des Deckglases eine Totalreflexion erleiden und infolgedessen nicht in das Beobachtungsobjektiv treten können.

Die einfachste Methode ist die Abblendung im Immersionskondensor*). Bei ihr realisiert man die Dunkelfeldbeleuchtung (s. Fig. 1) durch eine Zentralblende, die man unter dem Kondensor des

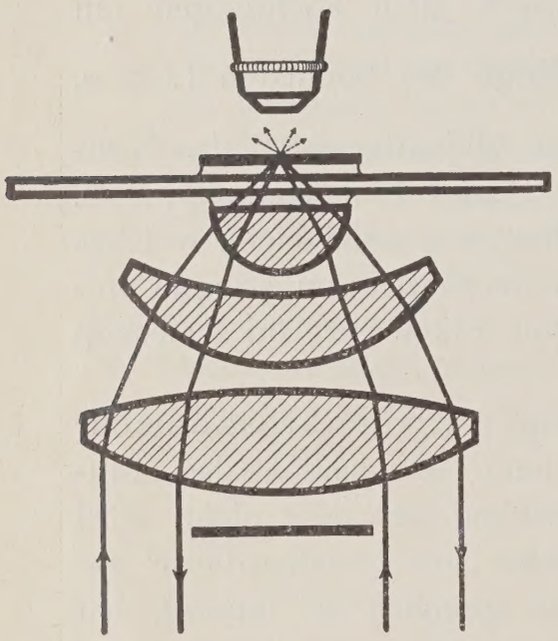


Fig. 1.
Abblendung im Immersionskondensor.

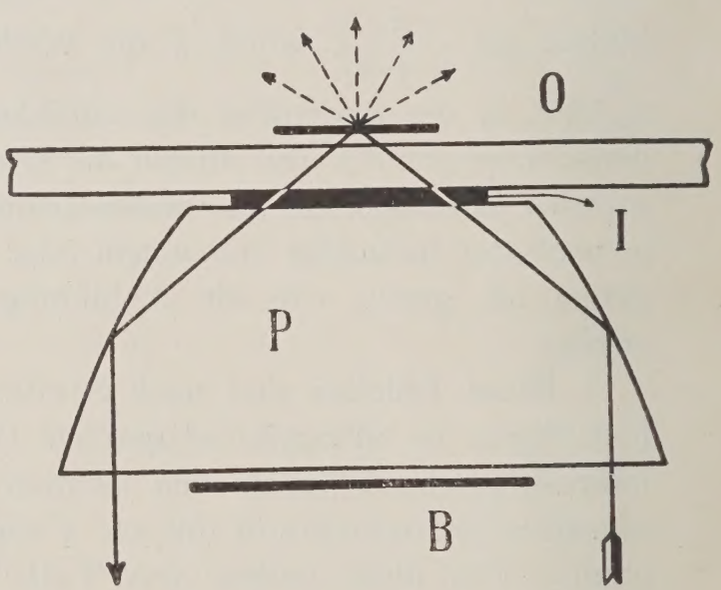


Fig. 2.
Paraboloidkondensor nach Siedentopf.

Mikroskops in den Diaphragmenträger des Abbeschen Beleuchtungsapparates einlegt. Die Nachteile dieser Einrichtung sind folgende: Schwierigkeiten beim Zentrieren und geringe Lichtstärke.

Viel vollkommener ist eine andere Einrichtung, nämlich der Paraboloidkondensor nach Siedentopf**).

Der Strahlengang im Paraboloid ist aus Figur 2 ersichtlich. Die beleuchtenden Strahlen sind ausgezogen, die im Objekt abgebeugten gestrichelt:

*) Siedentopf (44); Carl Zeiss, Jena (171,5).

**) Siedentopf (45); Carl Zeiss, Jena (171,4). Über andere ähnliche Apparate und die Vorgeschichte vgl. Siedentopf (45—47).

P ist ein plankonvexer Glaskörper, dessen konvexe Krümmung ein Rotations-Paraboloid darstellt. *B* ist die Zentralblende, welche Strahlen von der Apertur o bis 1.1 abhält. In der Oberfläche des Objektträgers *O* liegt der Fokus des Paraboloids. *J* ist die Immersionsschicht zwischen Paraboloidkondensor und Objektträger.

Beim Paraboloidkondensor treten infolge der ringförmigen Seitenbeleuchtung farbige Beugungssäume im Bilde vollkommen zurück; sie erscheinen nur bei exzentrischer Beleuchtung, wenn dadurch einzelne Teile des beleuchtenden Ringes ausgeschaltet werden.

Der Paraboloidkondensor ist sehr geeignet für die Untersuchung lebender Bakterien und kann auch für ultramikroskopische Untersuchungen der Kolloide und dünner zytologischer Objekte dienen.

2. Abblendung im Objektiv. Das Schema des Strahlenganges bei der Abblendung im Objektiv nach Siedentopf*) ist folgendes (Fig. 3):

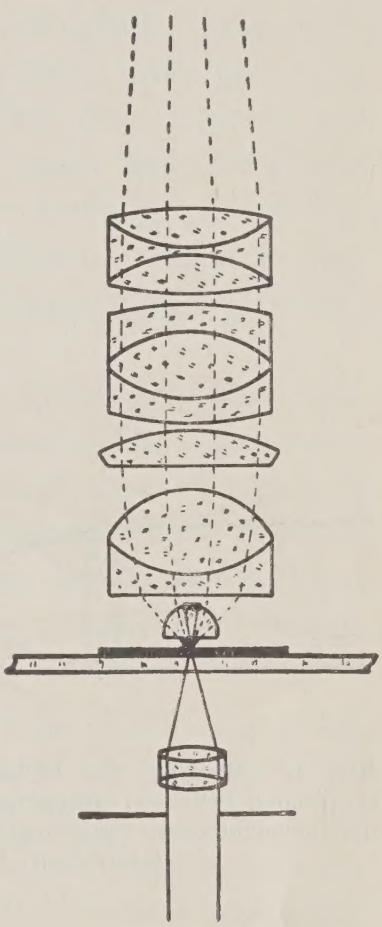


Fig. 3.
Strahlengang für Dunkelfeldbeleuchtung bei fester Blende im Beobachtungsobjektive.

Die auf den Spiegel des Mikroskops auffallenden Strahlen werden nach oben in das unter dem Mikroskoptisch eingeführte Beleuchtungssystem (Kondensor) geworfen; als solches wird ein System von geringer Apertur (etwa 0,2) verwendet. Die Strahlen werden im Präparat vereinigt und pflanzen sich dann mit der gleichen Apertur durch das Präparat hindurch in das Beobachtungsobjektiv, welches selbst eine höhere Apertur besitzen muß, fort. Man läßt sie bis auf die Hinterseite der Frontlinse des Beobachtungsobjektivs dringen und vernichtet sie dann. Es wird dies dadurch erreicht, daß die Hinterseite der Frontlinse nicht in ihrer ganzen Ausdehnung eine Kugelfläche ist, sondern daß ihre Mitte nach dem Vorschlage von Abbe, den num. Aperturen o bis 0,2 entsprechend, plan geschliffen und geschwärzt wird. Die auf diesen Teil der Frontlinse auftreffende Lichtbewegung wird infolgedessen absorbiert, und in das Auge des Beobachters gelangen keine das Präparat beleuchtenden Strahlen; wohl aber dienen zur Beobachtung alle Strahlen, welche von den Einzelteilchen des Prä-

*) Carl Zeiss, Jena (171,2).

parats abgebeugt werden und eine Apertur größer als 0,2 besitzen. In der Fig. 3 sind die beleuchtenden Strahlen ausgezogen, die abgebeugten, zur Abbildung dienenden Strahlen gestrichelt worden.

Wegen einiger Nachteile (des störenden Ansteigens der Helligkeit in den seitlichen Beugungsringen usw.) ist die Verwendbarkeit dieser Methode beschränkt. Als Vorteil bleibt ihr aber eine gewisse Fähigkeit, auch durch dickere Präparate (bis ca. 100 μ) hindurch in manchen Fällen eine Dunkelfeldbeleuchtung zu vermitteln. Deswegen wird diese Methode bei der ultramikroskopischen Untersuchung zytologischer Objekte angewandt.

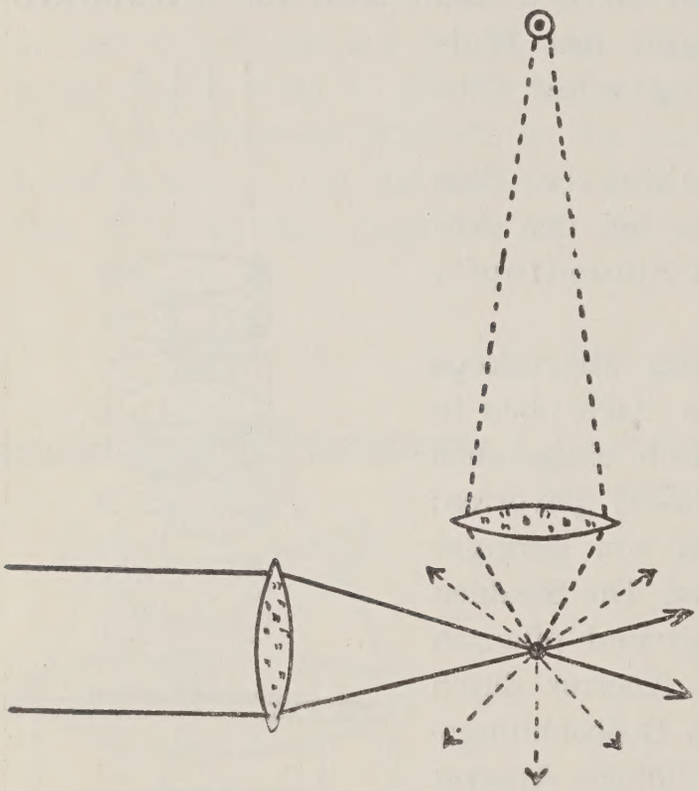


Fig. 4. Beugung des Lichtes an einem ultramikroskopischen Teilchen: orthogonale Anordnung der Achsen der beleuchtenden (ausgezogen) und der abgebeugten (gestrichelt) Strahlen.

Diese Einrichtung können wir bezeichnen als: „Das Ultramikroskop nach Siedentopf".

3. Seitenbeleuchtung. Nach diesem Prinzip ist das Ultramikroskop nach Siedentopf und Zsigmondy*) mit orthogonaler Anordnung der Beleuchtungs- und Beobachtungsrichtungen (Fig. 4) konstruiert. Bei ihm wird durch Abbildung eines Spaltes in den mehrere Millimeter dicken, festen oder flüssigen Präparaten auf optischem Wege ein Dünnschnitt bis zu $^1/_2$ μ Dicke herunter hergestellt (Ultramikroskop nach dem Prinzip des optischen Schnittes). Diese Methode wird bei der ultramikroskopischen Untersuchung flüssiger und fester Kolloide angewandt.

II. Die Struktur der Kolloide.

1. Die Kolloide und die Micellartheorie.

Ich halte es nicht für nötig, in diesem Werke eine allgemeine Charakteristik der Kolloide zu geben. Diesem Thema sind schon

*) Siedentopf und Zsigmondy (50); Zsigmondy (2); Carl Zeiss (171,3).

viele Schriften gewidmet worden, z. B. der ausgezeichnete Vortrag von Zsigmondy[3]). In diesem Vortrage ist der Begriff „Kolloid", ebenso wie die ganze kolloidchemische Nomenklatur deutlich erklärt. Auch die große Bedeutung, welche die Kolloidchemie für Medizin und Biologie hat, ist leicht aus den Werken von W. Pauli*) u. a. verständlich. Dagegen scheint es mir angebracht, die Bedeutung zu zeigen, welche die Arbeiten des berühmten Botanikers K. v. Nägeli für die Kolloidchemie und Ultramikroskopie haben.

Der Begründer der Kolloidchemie war Th. Graham (1861). Aber noch früher wie Graham hat Nägeli**) für die Stärkekörner und Zellmembranen eine Struktur angenommen, die wir jetzt als eine kolloidale bezeichnen können. Aus den mikroskopisch wahrnehmbaren Schichtungen und Streifungen dieser Gebilde, ihrer Quellbarkeit und ihrem Verhalten im polarisierten Lichte hat Nägeli geschlossen, daß die Struktur der Gebilde eine ganz besondere sein muß. Später hat Nägeli eine solche Struktur auch für einige Lösungen angenommen (z. B. Eiweiß). Um zu zeigen, welche Bedeutung für die Kolloidchemie die Arbeiten von Nägeli haben, zitiere ich folgendes***):

„Die wichtigste Eigenschaft, in der die Lösungen sich verschieden zeigen, besteht in der molekularen Konstitution. In dieser Beziehung gibt es zwei Klassen, einerseits die Lösungen von Salzen, Zucker usw., andererseits diejenigen der organisierten Stoffe (Eiweiß, Stärke, Cellulose). In den ersteren sind zwischen den Wasserteilchen die vereinzelten Moleküle, in den letzteren die vereinzelten Micelle (kristallinische Molekülgruppen) verteilt" (S. 98).

„Ursprünglich hatte ich im Jahre 1858 in Übereinstimmung mit dem damaligen Sprachgebrauch die jetzigen Moleküle „Atome" und die jetzigen Molekülgruppen „Moleküle" genannt, indem es sich für mich nur darum handelte, für die kleinsten, von den Physiologen als Moleküle oder Molekeln bezeichneten Substanzteilchen eine bestimmte Vorstellung zu gewinnen. Nachdem dann die Chemie die beiden Wörter in der bekannten Unterscheidung in Anspruch nahm, so mußte für Molekülgruppe ein neues Wort gesucht werden. Nach langem Überlegen entschied ich mich für die ganz ungelehrte Benennung Micell (Diminutiv von mica, Krume), weil sie nichts präjudiziert und sich für alle Zusammensetzungen eignet" (S. 121).

---

*) Wandlungen in der Pathologie durch die Fortschritte der allgemeinen Chemie, Wien 1905; Beziehungen der Kolloidchemie z. Physiologie, Verh. Ges. Deutsch. Naturf. u. Ärzte 1906 usw.

**) Die Stärkekörner, 1858.

***) Nägeli, Theorie der Gärung, 1879, S. 98.

„Die Stärkekörner, die Cellulosemembranen, sowie alle anderen organisierten Gebilde, sie mögen aus eiweißartigen, leimgebenden, elastischen, hornartigen oder anderen Substanzen bestehen, sind nicht unmittelbar aus den Molekülen aufgebaut, so daß diese eine kontinuierliche Zusammenordnung bilden würden, — sondern die nächsten Bestandteile sind kristallinische Molekülgruppen (Micelle), welche im imbibierten Zustande je durch eine Wasserschicht voneinander getrennt sind. Die Kristallnatur der Micelle ergibt sich vorzüglich aus dem optischen Verhalten gegen das polarisierte Licht, ihre Benetzung mit Wasserhüllen aus den Erscheinungen beim Aufquellen und Eintrocknen der organisierten Substanzen."

„In analoger Weise wie die Salz- und Zuckerkristalle sich im Wasser in die einzelnen Moleküle auflösen, können die organisierten Körper in einer geeigneten Lösungsflüssigkeit in die Micelle zerfallen und eine Lösung bilden. Die Ursachen für den letzteren Vorgang sind die nämlichen wie für den ersteren. Da aber die (kristallinischen) Micelle selbstverständlich untereinander einen weniger festen Zusammenhang haben als die Moleküle der nämlichen Verbindung, so ist es begreiflich, daß die Lösungsursachen sich schon mächtig genug erweisen, um Micelle von einem Körper loszutrennen und eine Micellarlösung zu bilden, während sie noch viel zu schwach sind, um die Micelle in die Moleküle zu zerlegen und eine Molekularlösung herzustellen. Alle organisierten Körper zerfallen zuerst in die Micelle, wenn überhaupt eine Trennung in kleinste Teilchen möglich ist; und im allgemeinen sind von den organisierten Verbindungen bloß Micellarlösungen bekannt, die auf sehr verschiedene Weise erhalten werden."

„Die Annahme, daß die organisierten Substanzen bei der Lösung in die Micelle und nicht in die Moleküle zerfallen, ist nicht bloß eine theoretische Folgerung aus den vorhandenen Umständen, sondern sie wird auch durch mehrere Tatsachen bestätigt, welche zugleich die unterscheidenden Merkmale bei Micellarlösungen gegenüber den Molekularlösungen aufzeigen. Die wichtigste Tatsache ist die, daß die kleinsten Teilchen der Lösungen organisierter Verbindungen beim Übergang in den festen Zustand sich nicht zu Kristallen, sondern zu kristallartigen Körpern zusammenlegen, deren Bau mit dem der organisierten Substanzen übereinstimmt. Ich habe dieselben „Kristalloide" im Gegensatz zu den wirklichen Kristallen genannt, weil der Name Kristalloid für eine kristallisierende Substanz im Sinne von Graham entweder überflüssig ist oder dann richtiger Kristallogen heißt" (S. 99, 100).

„Die Micellarlösungen, welche durch den Zerfall der organisierten Körper entstehen, können ihren Charakter etwas verändern, indem die Micelle in kleinere Micelle zerfallen" (S. 101).

„Die Micelle sind in Lösung wegen ihres beträchtlichen Gewichtes viel weniger beweglich, als es die Moleküle in Lösung sind, und legen sich daher leicht aneinander an. Ich will diese Vereinigungen, welche mehrere charakteristische Eigenschaften der Micellarlösung erklären, Micellarverbände nennen“ (S. 102).

„Die Micellarlösungen zeigen die Eigentümlichkeit, daß sie bei langsamem Ausfließen sich nicht in Tropfform trennen, sondern zu langen dünnen Fäden ausziehen. Bei der langsamen Bewegung, wobei die Micelle in der nämlichen Richtung strömen, legen sie sich in Ketten aneinander und wirken so dem Bestreben der beweglichen Wassermoleküle zur Tropfbildung entgegen.“

„Die Annahme, daß die angeführten Erscheinungen bei Micellarlösungen, welche sie so charakteristisch von den Molekularlösungen unterscheiden, wirklich durch die Micellarverbände hervorgebracht werden, ist um so sicherer, als ganz ähnliche Erscheinungen, bei einem sichtbaren Objekt, nämlich bei den Spaltpilzen, beobachtet werden, wenn dieselben aus Mangel an Eigenbewegung in einer Flüssigkeit sich zu Verbänden aneinanderlegen können. Die Spaltpilze geben dann der Flüssigkeit bei ungleicher Verteilung ebenfalls ein opalisierendes Aussehen, sie machen dieselben durch ihr Zusammenhängen schleimig und fadenziehend, sie bewirken langsam sich bildende Niederschläge, sie verketten sich zuweilen zu einem durch die ganze Flüssigkeit ausgespannten Gerüste von äußerst zarten und zerbrechlichen Fäden, — was sich alles leicht mikroskopisch nachweisen läßt und uns die Berechtigung gibt, die nämlichen Wirkungen bei den viel kleineren Micellen aus analogen Ursachen herzuleiten“ (S. 104).

Nägeli unterscheidet im allgemeinen fünf Stufen der molekularen Verhältnisse bis zu der Grenze, wo sie dem bewaffneten Auge sichtbar werden; Atome der chemischen Elemente, Moleküle, Pleone, Micelle und Micellverbände. Nur die letzteren können, wenn sie eine besondere Größe erreichen, unter dem Mikroskop wahrgenommen werden. Nägeli hat auch die Größe der Micellen theoretisch berechnet. Diese Berechnungen sind jetzt aber etwas veraltet da die Größe der Moleküle später theoretisch genau berechnet wurde.

Über die Struktur der organisierten Substanz sagen Nägeli und Schwendener*) folgendes:

„Die Moleküle gruppieren sich zu kleinen, jedoch mikroskopisch nicht wahrnehmbaren Kristallen, die wir Micellen nennen wollen. Diese treten selbst wieder nach ähnlichen Gesetzen zu größeren Massen zusammen, nur daß hierbei eine etwas größere Freiheit zur

*) Das Mikroskop, 1877, S. 422.

Geltung kommt, indem die Micellen sich bald in ebene, bald in krumme Flächen ordnen. Überdies können die Micellen, ohne ihre Anordnung zu verändern, sich soweit voneinander entfernen, daß Moleküle anderer Substanzen, zu denen sie Affinität haben, sich zwischen dieselben einschieben und eine förmliche Hülle um sie bilden."

„Eine weitere Eigentümlichkeit der organisierten Substanz besteht — soweit wenigstens die genauer bekannten Beispiele ein Urteil erlauben — darin, daß sie sich stets als ein Gemenge zweier chemisch verschiedener Substanzen erweist, welche durch Lösungsmittel voneinander getrennt werden können. So bestehen z. B. die Stärkekörner, desgleichen die Zellmembranen durchgehends aus zwei oder mehreren Substanzen von ungleicher Löslichkeit, und auch die Proteinkristalloide lassen einen Teil dieser Masse durch verdünnte Säuren ausziehen, während ein anderer Teil unter Beibehaltung der Kristallform zurückbleibt. Man kann sich nun die Micellarkonstitution eines solchen Gemenges in verschiedener Weise denken. Entweder bilden die beiden Substanzen Micellen von nicht sehr verschiedener Größe und Anordnung; dann ist selbstverständlich jedes beliebige Verhältnis zwischen den beiden Substanzen denkbar. Oder die regelmäßige Form und Anordnung beschränkt sich auf die Micellen der einen Substanz, indem die der anderen unregelmäßig in die Interstitien eingelagert sind, etwa wie der Mörtel zwischen die Steine eines Mauerwerkes. Eine dritte Annahme, daß nämlich die Micellen selbst aus Molekülen beider Substanzen zusammengesetzt seien, ist mit der Kristallnatur der Micellen nicht wohl vereinbar, da eine teilweise Lösung der integrierenden Bestandteile bei Kristallen nicht möglich ist. Die Kristallnatur der Micellen spricht auch gegen die Voraussetzung, daß die Moleküle verschiedener Substanzen Micellen mit gleichen Winkeln bilden. Unter den möglichen Kombinationen hat somit die Einlagerung der einen Substanz in die Micellarinterstitien der anderen die größte Wahrscheinlichkeit."

In seinem klassischen Werke „Osmotische Untersuchungen" (1877, S. 32) gebraucht Pfeffer für die Teilchen, die den Nägelischen Micellen und Micellarverbänden entsprechen, den Ausdruck „Tagma". Aber später hat Pfeffer*) die Nägelische Bezeichnung Micelle angenommen.

Nägelis Bezeichnungen „Micellarlösung" und „Kristalloid" werden selten gebraucht und sind unbequem. Grahams Bezeichnung „Kolloid" ist viel bequemer, da sie sehr gut ein allgemeines Merkmal ganz verschiedener Körper charakterisiert, und den Unterschied von anderen Körpern „Kristalloide" (in Grahams Sinne) sehr deutlich zeigt. Auch

*) Pflanzenphysiologie 1897, S. 65.

können die anorganischen Kolloide in Nägelis Begriffe: „organisierte Substanz", „organische Verbindungen" usw. nicht gut hineinpassen. Was aber die Nägelischen Bezeichnungen „Micelle" und „Micellarstruktur" anbetrifft, so sollen dieselben — wie unten gezeigt wird — mit Recht beibehalten werden.

Wenn wir jetzt die theoretischen Schlüsse von Nägeli über die Micelle mit den Eigenschaften der Ultramikronen vergleichen, so werden wir eine große Übereinstimmung zwischen den beiden finden.

Es ist schon gesagt, daß die Grenze der Sichtbarmachung ultramikroskopischer Teilchen gleich ca. 5 $\mu\mu$ ist. Die hypothetischen Molekulardimensionen können wir aus folgender Tabelle*) ersehen:

Wasserstoffmolekel	Durchm.	0,1 $\mu\mu$	(O. E. Meyer)
Alkoholmolekel	„	0,5 „	
Chloroformmolekel	„	0,8 „	(Jäger)
Molekel der löslichen Stärke		5,0 „	(Lobry de Bruyn)

Aus diesen Größen kann man schließen, daß die Micelle mit Hilfe des Ultramikroskops ohne weiteres sichtbar gemacht werden können, besonders wenn man sich daran erinnert, daß Nägeli sagte, daß die Micelle „nicht bloß aus Hunderten, sondern aus vielen Tausenden von Molekülen aufgebaut sind".

Auch die kristallinische Natur der Micelle wird durch einige Forscher bestätigt. So schließt z. B. Siedentopf[39]), daß die Ultramikronen in gefärbten Steinsalzpräparaten meist nadel- oder blättchenförmige, zum Teil pleochroitische, metallische Natriumkriställchen sind.

Cotton und Mouton[1]) haben die Bezeichnung „Micelle" für eine Art von Ultramikronen angewandt; doch sie berücksichtigen die Nägelische Theorie nicht. Aber aus dem Obengesagten kann man schließen, daß wir die Ultramikronen mit Recht auch als Micelle bezeichnen können. Die Micelle können wir je nach ihrer Größe als submikroskopisch oder amikroskopisch bezeichnen. Mit Hilfe des Ultramikroskopes können wir nicht nur die Micelle in der Nägelischen „organisierten Substanz" konstatieren, sondern auch in den anorganischen Kolloiden.

Daher können wir mit Recht sagen, daß die Micellartheorie von Nägeli lange nach dem Tode ihres Schöpfers durch die ultramikroskopischen Untersuchungen bestätigt wurde. Diese Bestätigung kann auch als eine interessante Tatsache in der Geschichte der exakten Wissenschaften betrachtet werden.

Die Nägelischen Ansichten wurden von manchen hervorragenden Morphologen bestritten. So nimmt z. B. Straßburger**) an, daß die Schichtungen der Stärkekörner und Zellmembranen nur dadurch

*) Zsigmondy (2, Tafel IV).

**) Über den Bau und Wachstum der Zellhäute 1882.

entstehen, daß die Adhäsionsflächen der aufeinanderfolgenden Lamellen mikroskopisch als dunklere Linien erscheinen. Das negative Verhalten gegen die Nägelischen Ansichten kann man vielleicht aus dem Wunsche mehrerer Forscher erklären, nur mit mikroskopisch gut wahrnehmbaren und definierbaren Objekten zu tun haben zu wollen und die verschiedenen Erscheinungen nur auf Grund dieser mikroskopischen Beobachtungen erklären zu wollen.

Aber jetzt nach der Entstehung der Ultramikroskopie sind wir gezwungen, uns mit Objekten von ganz anderen Dimensionen zu beschäftigen und die mikroskopisch wahrnehmbaren Objekte (Lamellen, Fibrillen, Waben usw.) wieder in ihre Komponenten zu zerlegen. Um so größer erscheint das Verdienst von Nägeli; denn die mittels der neuen Apparate beobachteten Erscheinungen können mit seiner Theorie erklärt werden, die schon 50 Jahre alt ist.

2. Die Struktur der Sole und der Gele. Die Wabentheorie.

In den flüssigen Kolloiden (Solen) sind die Teilchen ähnlich verteilt wie in den Suspensionen. Überhaupt sind die Sole den genannten Zerteilungen sehr ähnlich. Im allgemeinen stellen die Kolloide einen Übergang von den Kristalloiden zu den Suspensionen dar. Aber sie unterscheiden sich von beiden — wie Zsigmondy[2]) dies gezeigt hat — durch ganz charakteristische Merkmale.

Außer flüssigen Kolloiden gibt es auch feste kolloidale Körper, wie gefärbte Gläser, gefärbtes Steinsalz usw. Sie unterscheiden sich von den kolloidalen Flüssigkeiten dadurch, daß die Teilchen, da sie in einem festen Medium verteilt sind, unbeweglich erscheinen, während sie sich in den flüssigen Kolloiden sehr lebhaft bewegen (Brownsche Molekularbewegung).

Entweder bei zunehmender Konzentration oder beim Zusatz gewisser Stoffe (z. B. von Elektrolyten) verwandeln sich die kolloidalen Flüssigkeiten in Gallerte (Gele). Je nach der Wirkung der Elektrolyte verwandelt sich das ganze Sol entweder in ein Gel oder bildet einen Niederschlag. Bei den Zustandsänderungen der Kolloide kann man also zwei Arten unterscheiden, nämlich, die Fällung und das Erstarren*). Je nachdem der Trockenrückstand in dem verwendeten Lösungsmittel löslich oder unlöslich wird, werden die Sole als reversibel oder irreversibel bezeichnet. Die irreversiblen Hydrosole sind sehr empfindlich gegen Elektrolytzusätze, die reversiblen dagegen nicht.

Schon theoretisch können wir annehmen, daß die räumlichen Verhältnisse in den Gelen ganz andere sein müssen wie die in den

*) S. W. Pauli, Naturw. Rundschau, 18, 1902, Nr. 26.

Solen. Die vorherrschende Theorie über die Struktur der Gele ist gegenwärtig die Wabentheorie von Bütschli. Nach dieser Theorie wird angenommen, daß die Struktur der Gele folgende ist: Die festere Substanz der Gele bildet ein Waben- oder Schaumwerk, in dessen Hohlräumen sich die flüssige Substanz befindet. Diese Wabenstruktur glaubt Bütschli*) durch seine mikroskopischen Beobachtungen zu bestätigen. Er hat die von ihm hergestellten Schäume, aus Olivenöl mit Wasser und Kochsalz usw., geronnene, kolloidale Stoffe, Protoplasma usw. beobachtet. In allen diesen Fällen hat er ein Netzwerk gefunden. Die einzelnen Maschen waren polyedrisch, manchmal sehr regelmäßig und so gebaut, daß die drei Flächen in einem Knoten zusammentrafen.

Diese mikroskopischen Beweise sind aber nicht immer ausreichend**). Bütschli sagt selbst, daß man aus den mikroskopischen Bildern nicht schließen kann, ob eine Netz- oder Wabenstruktur vorliege. Denn in beiden Fällen müsse das mikroskopische Bild ein und dasselbe sein. Der Durchmesser der von ihm beobachteten Maschen war sehr klein, manchmal unter 1 μ. Die Netze mit den dreieckigen Maschen bezeichnet er selbst als falsche Netze.

Schon aus den klassischen Untersuchungen von Abbe***) geht klar genug hervor, daß das Bild eines Netzes durch jede beliebige periodische Struktur hervorgerufen werden kann.

Mit Recht bemerkt ferner Pfeffer, daß „die wabige Struktur nicht ausschließt, daß sich vor unseren Augen ein ebenso kompliziertes Bild, wie das einer ganzen Zelle entrollen würde, wenn alles millionenfach größer vor uns stände. Übrigens erschien und erscheint auch dem freien Auge ein Parenchymgewebe als eine feinwabige Masse, und niemand vermochte das dahinter stehende Bild einer lebenden Zelle zu ahnen, das sich fernerhin dem bewaffneten Auge enthüllte“ (Pflanzenphysiologie, 1897, S. 37).

Desto unverständlicher ist die Meinung, daß die Wabentheorie von Bütschli die Micellartheorie von Nägeli verwirft. Theoretisch kann man mit großer Wahrscheinlichkeit annehmen, daß bei den amorphen Gelen die Nägelische wasserarme Substanz mit großen Micellen die Wände der Waben bildet, die wasserreiche Substanz mit kleinen Micellen dagegen den Inhalt der Waben.

Im allgemeinen ist aber die Wabenstruktur für die Gele sehr wahrscheinlich. Bei der Beobachtung dünner Kollodiumschichten mit

*) Untersuchungen über mikroskopische Schäume und Protoplasma, 1892; Untersuchungen über Strukturen, 1898 usw.

**) Die ausführliche Kritik vgl. A. Fischer, Fixierung, Färbung und Bau des Protoplasmas, 1899, 271—335.

***) Gesammelte Abhandlungen, 1903, S. 375—435.

dem Ultramikroskop nach Siedentopf habe ich ein Netz gesehen. Dagegen habe ich bei der Beobachtung dünner Schichten von Gelatine und von Stärkekleister nur helle Beugungsscheibchen gesehen, die in einem optisch leeren Raume verteilt waren.

Die Wabentheorie paßt dagegen, meiner Ansicht nach, für die Erklärung der Strukturen der Stärkekörner, Zellmembranen usw. nicht. Schon die morphologisch bestimmte Gestalt, bestimmtes Wachstum usw. dieser Gebilde, die mindestens aus zwei verschiedenen Kolloiden bestehen, kommen mit der zu einfachen Wabenstruktur in Konflikt.

Übrigens bestätigen — meiner Ansicht nach — die Mikrophotogramme von Bütschli (1898) die Wabenstruktur dieser Gebilde absolut nicht. Um dies zu beweisen, zitiere ich hier die Deutungen, welche Bütschli für einige seiner Mikrophotogramme gemacht hat und daneben meine Deutungen derselben Mikrophotogramme, die ich auf Grund der oben erwähnten klassischen Untersuchungen von Abbe gebe.

Bezeichnungen und Deutungen von Bütschli.	Deutungen des Verfassers.
Fig. 11 (Taf. 19), „Rest oder Skelett eines Korns von Weizenstärke, schwach mit Jod gefärbt, in Wasser untersucht. Der strahlig wabige Bau ziemlich deutlich.“	Zwischen Zentrum und Peripherie sind die konzentrischen Reihen der Scheibchen. Die Reihen sind durch optisch leere Zwischenräume unterbrochen. Im Zentrum sind die Abstände einer und derselben Reihe und der benachbarten Reihen so klein, daß sie sich berühren und ein Netzwerk bilden. An der Peripherie sind die Abstände zwischen benachbarten Reihen auch sehr klein. An den Stellen, wo die Scheibchen der benachbarten Reihen sich berühren, entstehen die Strahlen.
Fig. 7, 9 (Taf. 3), Fig. 2, 6, 7, 10 (Taf. 19), Fig. 1, 2, 3 (Taf. 20). Verschieden präparierte Arrowrotstärke. Fig. 1, 7, 8 (Taf. 4), Fig. 1, (Taf. 24). Inulin.	Auf allen diesen Mikrophotogrammen sieht man mehr oder weniger regelmäßige, konzentrische oder exzentrische Reihen der Scheibchen. An den Stellen, wo die Abstände zwischen den benachbarten

Fig. 5, 7, 8 (Taf. 11), Fig. 8, (Taf. 24). Baumwollfaser. Querschnitte in Kupferoxydammon gequollen. Fig. 7, 11, 12 (Taf. 22). Stärkesphären. Fig. 7 (Taf. 12), Fig. 10 (Taf. 18). Cellulose.	Scheibchen einer und derselben Reihe und der Scheibchen der benachbarten Reihen nicht vollständig aufgelöst sind, entsteht auf optischem Wege ein Netzwerk.
Fig. 3 (Taf. 11). „Bastzelle von Nerium Oleader. Feiner Querschnitt. Im Wasser. Konzentrisch netzige Struktur der Membran.“	Die schwarzen Zwischenräume sind sehr groß. In diesen Zwischenräumen sind manchmal einzelne Scheibchen sichtbar. Bei Berührung der letzteren mit den Scheibchen der hellen Reihen entsteht eine sehr schwache Netzbildung.
Fig. 1 (Taf. 12). „Leinenfaser; längere Zeit mit Eau de Javelle behandelt, darauf mit Eisenhämatoxylin gefärbt, unter Deckglas stark zerklopft und dann getrocknet. Größere, deutlich wabige Bruchstücke bis zu kleinsten Partikelchen herab.“	Einzelne oder in verzweigte Fäden gesammelte Scheibchen. Die verzweigten Fäden bilden ihrerseits Klümpchen.
Fig. 4 (Taf. 14). „Leinenfaser. 8 Tage in Eau de Javelle, in Kongorot gefärbt und darauf unter Deckglas zerklopft. In Wasser. Stelle wo faserig-wabiger Bau sicher und Kreuzungen von Fasern bestimmt ausgeschlossen.“	Verzweigte helle Linien, manchmal in einzelne Scheibchen aufgelöst. Bei Berührung derselben entstehen manchmal Netzbildungen. Von Wabenstruktur keine Spur.
Fig. 5, 7, 8 (Taf. 14). „Caulerpa prolifera. Feiner Durchschnitt durch die Zellhaut. In Kupferoxydammon etwas gequollen. Schön geschichtet, wabig.“	Parallele Linien, manchmal homogen, manchmal in Scheibchen aufgelöst.

Man könnte die Zahl der Beispiele noch vermehren, doch die angegebenen beweisen schon das oben Gesagte klar genug. Übrigens habe ich nur über mir gut bekannte Objekte gesprochen. Es ist noch zu bemerken, daß mehrere Aufnahmen von Bütschli zeigen,

daß er in manchen Fällen mit sehr gut gelungener Dunkelfeldbeleuchtung (durch schiefe Beleuchtung?) zu tun hatte. Dies zeigen der dunkle Grund und die weiß erscheinenden Objekte. Er spricht zuweilen selbst über „enge Blenden". Überhaupt wurde durch seine Untersuchungen in der mikroskopischen und mikrophotographischen Technik ein großer Fortschritt gemacht. Seine Meinung, daß fast alle von ihm untersuchten Objekte eine wabige, faserigstrahlig- oder globulitischwabige Struktur haben, kann man vielleicht folgendermaßen erklären: Um das ungeheuere, von ihm gesammelte faktische Material durch ein Hauptprinzip zu erklären, brauchte er eine allgemeine Theorie. Als eine solche hat er die Wabentheorie angenommen, welche für einen Teil der von ihm untersuchten Objekte ganz passend war.

3. Das Protoplasma als Kolloid.

Nägeli*) hat angenommen, daß das Protoplasma, die Stärkekörner, Zellmembranen usw. eine Micellarstruktur haben. Deswegen können wir annehmen, daß er die genannten Körper zu den Stoffen gerechnet hat, welche wir jetzt Kolloide nennen. Artur Mayer**) bezeichnet das Protoplasma direkt als ein Kolloid.

Bütschli hat für das Protoplasma die Wabenstruktur angenommen, d. h. die Struktur eines Gels. Die Unmöglichkeit, die Realität der Wabenstruktur durch optische Gründe zu bestätigen, wurde schon oben besprochen. Mehrere Forscher haben auch gezeigt, daß die Entstehung der Wabenstruktur eine sekundäre Erscheinung ist***), die durch äußere Bedingungen hervorgerufen wird, pathologisch ist und sogar als Absterbeprozeß zu betrachten ist.

So hat z. B. P. Klemm†) bemerkt, daß man die Waben- oder Schaumstruktur, ebenso wie die anderen Strukturen im Protoplasma, willkürlich hervorrufen kann. Er kommt zu dem Schlusse: „Es wird ihm das Plasma gleichartiger Zellen unter Einwirkung des Wasserstoffsuperoxydes in fibrillärer, unter Einwirkung von Säuren und vielen anderen Giften in körniger Struktur, die bei gewisser Anordnung der Körnchen zur Netzstruktur wird, endlich unter Einwirkung basischer Stoffe in alveolärer Struktur erscheinen". Am Schlusse seiner interessanten Arbeit sagt Klemm folgendes: „Mit dem Übergang vom Bewegungssystem in eine tote Masse ist stets die Veränderung des Aggregatzustandes vom flüssigen zum festen verknüpft, die Gerinnung.

---

*) l. c. u. Mechanisch-physiologische Theorie der Abstammungslehre, 1884.

**) Untersuchungen über die Stärkekörner, 1895, S. 308.

***) Vergl. A. Fischer, l. c.; Hardy, Journ. of. Physiol., Bd. XXIV, 1899, S. 158—211 usw.

†) Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XXVIII, 1895, S. 685.

Das ist aber die einzige Erscheinung, die immer festzustellen ist, auf welche Weise auch der Tod herbeigeführt sein mag."

Überhaupt ist jetzt die Ansicht verbreitet, daß das lebende Protoplasma sogar einer und derselben Zelle sehr polymorph ist*).

Berthold hat angenommen, daß das Protoplasma eine Emulsion ist. Nach unseren jetzigen Begriffen ist es besser, Hydrosol statt Emulsion zu sagen. Kann aber eine aus Hydrosolen bestehende Zelle ihre Individualität behalten? Wenn wir annehmen, daß z. B. eine Zelle, die sich im Wasser befindet, aus reversiblem Hydrosol besteht, so wird sie im Wasser ganz einfach aufgelöst werden. Wird sie dagegen aus irreversiblem Hydrosol bestehen, welches sehr empfindlich ist, so wird das letztere durch die im Wasser befindlichen Elektrolyte koaguliert. Ungeachtet dessen ist die Annahme, daß das innere Plasma ein Hydrosol ist, sehr plausibel, wenn wir die sehr wichtigen Arbeiten von Pfeffer**) über die Plasmahaut berücksichtigen. Er sagt, daß „die Existenz der Plasmahaut mit verschiedener Differenzierung auch mit der Wabenstruktur des Protoplasmas verträglich ist" (Pflanzenphysiologie, S. 92). Wir können aber sagen, daß das Vorhandensein der Plasmahaut unbedingt notwendig wird, wenn wir annehmen, daß das Protoplasma ein Hydrosol ist.

Wenn das Protoplasmahydrosol gegen die schädlichen Wirkungen der Medien durch eine osmotische Haut geschützt wird, so kann die Zelle ihre Individualität behalten, und in ihr kann der Stoffwechsel stattfinden. Pfeffer hat bewiesen, daß die Vakuolen auch eine solche Wand haben. Daraus können wir schließen, daß die in die Zellen eintretenden Elektrolyte sich in diesen Vakuolen befinden werden und auf diese Weise wird das innere Protoplasma gegen die schädlichen Einwirkungen der ersteren geschützt. Das Protoplast kann mit den Vakuolen so gefüllt werden, daß das ganze System das Aussehen einer Wabenstruktur erhält.

Die meisten Bestandteile lebender Zellen sind Kolloide. Der einzige Apparat, mit dem die Kolloide untersucht werden können, ist ein ultramikroskopischer. Deswegen ist das Ultramikroskop für zytologische Untersuchungen sehr wichtig. Schon im Winter des Jahres 1906 hatte ich beschlossen, die Kolloide der lebenden Pflanzen und Protistenzellen ultramikroskopisch zu untersuchen***). Die Resultate dieser Untersuchungen sind in den Kapiteln VI und VII mitgeteilt.

*) A. Fischer, l. c.; V. Rouzicka, Struktur u. Plasma, 1908 usw.

**) Zur Kenntnis der Plasmahaut u. d. Vakuolen, Abh. Sächs. Akad. Wiss., Bd. XVI, 1890.

***) Vgl. Gaidukov (105—107, 109—111, 117).

III. Ultramikroskopische Untersuchungen von Sera und von Lösungen der Farbstoffe, des Eiweißes und der Kohlehydrate.

Eine große Anzahl organischer Kolloide hat E. Rählmann mit dem Ultramikroskop nach Siedentopf und Zsigmondy untersucht. Er hat die ultramikroskopische Struktur der Eiweißlösungen[147–150, 152, 154, 155]) nachgewiesen, und es ist ihm gelungen[155]), „unter dem Mikroskop den Abbau der größeren suspendierten Teilchen bei Pepsinwirkung zu beobachten. Da die Demonstration dieses Vorgangs der Umwandlung des Albumins in Pepton durch Verdauung eine längere Beobachtungsdauer erfordert", hat er „zu Demonstrationszwecken die Umwandlung des Glykogens in Dextrin und Zucker unter dem Ultramikroskope verschiedenen Gruppen von Interessenten vorgeführt. Bei diesem Versuch kann man sich leicht davon überzeugen, daß reines Glykogen sich in einer wässerigen Lösung in Form kleiner Körnchen suspendiert befindet, und daß diese kleinen runden Teilchen auf Einwirkung einer geringen Menge Diastaselösung immer kleiner und kleiner werden und endlich ganz verschwinden. Wenn das geschehen, ist die Flüssigkeit, die anfangs eine Glykogenlösung war, in eine Zuckerlösung verwandelt."

Aus seinen Untersuchungen der Eiweißlösungen schließt Rählmann, daß die kleinsten Eiweißteilchen in ein und derselben Eiweißlösung eine verschiedene Größe haben, und es „werden bei verschiedener Verdünnung, je nach dem Salzgehalt usw., verschieden kleine Teilchen sichtbar".

Die Beobachtungen über die Wirkung der Kochsalzlösung auf die ultramikroskopische Struktur der Eiweißlösungen sind sehr wichtig, da ähnliche Vorgänge auch im lebenden Organismus stattfinden können.

Die Untersuchung der Einwirkung gewisser Agentien auf Eiweißkörper hat Rählmann deswegen unternommen, „weil die bezüglichen ultramikroskopisch direkt sichtbaren Vorgänge ein Schlaglicht auf die therapeutische Wirkung einiger vielgebrauchter Arzneimittel werfen".

Dabei hat er gefunden, daß bei der Wirkung der Alaunlösung (1 : 500) und des Eisenchlorids die Eiweißultramikronen bedeutend kleiner werden und einzelne ganz verschwinden. Dagegen beobachtet er bei der Wirkung der Gerbsäure (1 : 500) und der Höllensteinlösung (1 : 1000) ein Größerwerden der Teilchen. Aus diesen Tatsachen schließt er dann, daß die therapeutische Wirkung der beiden ersten Stoffe in der Verkleinerung der Eiweißteilchen besteht, dagegen die Wirkung der beiden letzteren Stoffe in der Vergrößerung derselben.

Rählmann hat bei seinen Trachomuntersuchungen[156]) das Ultramikroskop auch dazu benutzt, um zu zeigen, daß die Metallsalze dadurch heilend wirken, daß sie Fällung von Eiweiß bewirken, und daß dabei die in derselben Lösung befindlichen Stoffe, insbesondere Bakterien, Enzyme und Fermente niedergeschlagen werden. Er hat die Wirkung der Metallsalze auf Trachomtranssudat und -sekret ultramikroskopisch untersucht und gefunden, daß bei Zusatz von Argentum nitricum und Plumbum aceticum viele neue Submikronen entstehen. Noch mehr Teilchen entstehen bei Zusatz von Cuprum sulfuricum. Bei Zusatz von Sublimat entstehen dagegen weit weniger neue Teilchen. Er hat auch gefunden, daß, wenn man eine Transsudatlösung mit kolloidaler Silberlösung mischt, „im Gesichtsfelde des Mikroskops jetzt neben den bunten Silberteilchen die einfach grau gefärbten Eiweißteilchen auftreten. Aber es beginnen jetzt die Silberteilchen ihre Farbe und Größe zu ändern. Die roten Teilchen verschwinden zuerst, dann die blauen, endlich auch die gelben, und sehr bald sind nur Teilchen von graugrüner Farbe vorhanden. Die Anzahl der kleinen Eiweißteilchen scheint aber abgenommen zu haben. Dafür sind viele der Teilchen, die vorher farbig waren, größer geworden. Bei der Vermischung von Eiweiß und Kollargol ist die Farbenveränderung der Teilchen bei gleichzeitigem Größerwerden derselben kaum anders als durch Umhüllung dieser Teilchen mit Eiweiß zu erklären."

Rählmann hat weiter gefunden, daß die wässerigen Lösungen mehrerer Farbstoffe unter Zusatz von Beizen ihre ultramikroskopische Struktur ändern, „und mit den optisch sichtbaren Eiweißteilchen charakteristische, durch besondere Gruppierung der Teilchen auffallende Verbindungen eingehen, welch letztere wiederum mit Änderung der Farbe der Lösung verbunden sind".

In bezug auf das Verhalten gegen Alaun kann man die von Rählmann untersuchten Farbstoffe folgendermaßen einteilen:

1. Die Farbstoffe, bei welchen nach Zusatz von Alaun die Submikronen sich vergrößern resp. (bei den optisch leeren und amikroskopischen Farbstoffen) entstehen. Dazu gehören Blauholz (graue Staubteilchen, dann rote Teilchen), Rotholz (staubförmiger, grauer Kegel, dann gelbe Teilchen), Sandelholz (amikroskopisch, dann kleine Teilchen), Visettholz (optisch leer, dann staubförmige Teilchen), Gelbholz (amikroskopisch, dann staubförmige Teilchen), Indigo kolloidal (gelbrote Teilchen, dann Aggregationen), Benzo-Blauschwarz (ziemlich dasselbe), Krappwurzel (Vergrößerung gelber Teilchen), Curcumawurzel (ähnlich), Querzitron (optisch leer, dann gelbe Teilchen), Radix ratanhiae (amikroskopisch, dann goldgelbe Teilchen), Höchster Neublau

und Biebricher Scharlach (optisch leer, dann kupferrote Teilchen), Kongo-Echtblau (Vergrößerung der gelbroten Teilchen).

2. Die Farbstoffe, bei welchen nach Zusatz von Alaun die Submikronen verschwinden. Dazu gehören Pernambuco (beinahe amikroskopisch) und Malachitgrün (kupferrote Teilchen).

3. Die Farbstoffe, welche keine Veränderungen nach Zusatz von Alaun zeigen. Dazu gehören Auramin (beinahe amikroskopisch) und Alkaliblau (feuerrote Teilchen).

Rählmann hat auch die Entstehung des Berlinerblau (violettrote Submikronen) aus optisch leeren Eisenchlorid- und Ferrozyankaliumlösungen und des gerbsauren Eisenoxydul (kleinste grauweiße Submikronen) aus den optisch leeren Gerbsäure- und Eisenoxydullösungen ultramikroskopisch untersucht.

Die interessantesten Erscheinungen gaben die folgenden Mischungen mehrerer Farbstoffe mit Alaun.

1. Gelbholz, Alaun und Indigo: „Es sind in der Mischung neben den tiefroten noch gelbrote und eine Menge blaugrüner Teilchen vorhanden. Nach längerer Zeit treten die Teilchen in Gruppen zusammen. Letztere bestehen anfangs aus je einem roten, blaugrünen und gelbroten Scheibchen. Später legen sich andere Scheibchen an diese Gruppen an, teilweise in Reihen und Ketten, teilweise kranzförmig in einem gewissen Abstand um einen aus mehreren Scheibchen bestehenden bunten Kern herum."

2. Gelbholz und Kongo-Echtblau: „Im Ultramikroskop zeigen sich die roten Teilchen des Kongo in dem grauen Staubkegel des Gelbholzextraktes. Die Lösung ist mattgrün; mit Alaun entsteht ein heller, graugrünlicher Kegel, welcher aus feinsten Staubkörnchen besteht, welche teils eine rote, teils eine gelbrote Färbung besitzen. Die Lösung ist jetzt schön kristallgrün, auch nach wochenlangem Stehen fällt nichts aus. Es wird demnach durch Gelbholz die fällende Wirkung des Alaun auf Kongo verhindert. Dasselbe verhält sich also diesem Farbstoff gegenüber wie ein Schutzkolloid. Die Kongo-Echtblauteilchen sind dabei aber staubförmig verkleinert worden."

3. Pernambuco, Alaun und Kongo geben zunächst gelbrote, rote und gelbliche Teilchen; dann kommen grüne hinzu. „Sie gruppieren sich zusammen; es befinden sich schließlich je ein gelbes und rotes und ein gelbgrünes Scheibchen nebeneinander, so daß auf diese Weise bunte Gruppen mit regulären Abständen entstehen. Je nachdem die Gruppen bei ihren fortwährenden Bewegungen sich im Profil von der Kante oder von der Fläche präsentieren, sieht man gelegentlich drei oder zwei Scheibchen einer Gruppe in verschiedenen Abständen. Nach einigen Stunden verbinden sich mehrere Gruppen miteinander zu bunten Plaques."

Rähl mann sagt weiter: „Setzt man zu den angeführten Farbstoffen und deren Mischung Eiweiß hinzu, so treten fast ausnahmslos Veränderungen der Farbe der Lösungen auf, welche parallel erfolgen zu einer charakteristischen Änderung der Farbe und der Gruppierung der beschriebenen Farbstoffteilchen".

„Je nach dem verwendeten Eiweißkörper sind die Farben der Teilchen und der Mischungen derselben Farbstoffe verschieden."

Als Beispiel für das Zitierte können wir folgende Beobachtungen hier anführen.

„Setzt man zu einer Blauholzlösung Serumalbumin, so wird der graue Kegel ausgefüllt oder ersetzt durch zahllose Albuminteilchen, welche aber jetzt eine leuchtende gelbe Farbe zeigen".

„Die Lösung von Blauholz und Serumalbumin ist rötlichgelb geworden. Setzt man jetzt Alaunlösung hinzu, so wird die Lösung nach und nach feuerrot und dann violett."

„Im Ultramikroskop entsteht nach dem Zusatz von Alaun ein Zusammentreten von Teilchen. Die Gruppen bestehen anfangs aus lauter gelbgrünen kleinen Scheibchen, die nach und nach (während die Lösung makroskopisch immer tiefer rot wird) ein buntes Aussehen erhalten. Nach einiger Zeit sind in den Gruppen nur noch vorwiegend gelbe, dann aber intensiv rote, ferner orange und gelbgrüne Scheibchen vorhanden."

„Während anfangs die Gruppen regelmäßig aus drei oder vier Scheibchen in den genannten Farben bestehen, kommen später durch Anlagerung anderer Scheibchen Vergrößerungen der Gruppen vor. Viele zeigen anhängende Ketten aus aneinander gereihten bunten Scheibchen."

„Setzt man zu Blauholz aber erst Alaunlösung und dann, nachdem sich die Violettfärbung vollzogen hat, erst Serumalbumin hinzu, so treten die Teilchen sofort zu größeren Gruppen und Plaques zusammen, welche anders gefärbt sind. Die Flüssigkeit ist dunkler rot bis rotbräunlich."

Schon früher hat Rähl mann[147]) die Mischung von Berlinerblau- und Naphtolgelblösungen ultramikroskopisch untersucht und dabei gefunden, daß in der Mischung die violett-roten Teilchen des ersteren Farbstoffes gelb-rot werden und die des letzteren grün.

Aus seinen Untersuchungen zieht Rähl mann allgemeine Schlüsse über die physikalisch-physiologische Bedeutung der Farbstoffmischungen[147, 149]), über die Theorie der Färbung und über die histologische Färbung[155]). Schon aus den zitierten Versuchen, besonders aus denen, bei welchen sich in der Mischung Eiweiß befand, kann man schließen, wie wichtig diese Untersuchungen für die mikrochemischen Fragen sind.

Rähl mann selbst bemerkt: „daß der Prozeß der Färbung weder ein rein chemischer noch ein rein physikalischer im Sinne einer Trennung zweier Naturkräfte ist, sondern einen molekularen Vorgang darstellt, bei welchem durch physikalische Anziehungskräfte chemische Wirkungen herbeigeführt werden".

Mit Recht bemerkt er auch, daß: „Eiweiß und organische Farbstoffe das geeignetste Material vorstellen, um die Frage „über die Theorie der Färbung zu entscheiden". Aus seinen Untersuchungen können wir schließen, daß er beim Mischen von Eiweiß mit Farbstoffen vielfach Adsorptionsvorgänge beobachtet hat. —

Sehr ausführlich spricht Rähl mann über seine Untersuchungen des Chlorophylls[155]), Er hat „chlorophylli puri solutio aquosa von E. Merck in Darmstadt" ultramikroskopisch untersucht und gefunden: „Die stark verdünnte Lösung zeigt einen sehr intensiven blutroten Kegel, welcher bei starkem Licht sich in zahllose staubförmige kleinste blutrote Teilchen auflösen läßt."

„Nach Zusatz eines Tropfens Alaun verschwindet der Kegel, und es bilden sich aus ihm eine Unmenge hellgrün-weißer Teilchen. Letztere treten in Gruppen von 3, 4 bis 6 Teilchen zusammen. Die Lösung wird tief grün-blau. Wird viel Alaun zugesetzt, so entstehen körnige Fällungen."

Setzt man zum Chlorophyll Serumalbumin, „so werden die Albuminteilchen abgebaut, sie werden winzig klein. Bei reichlicherem Serumzusatz wird der Kegel grauviolett. Die Serumteilchen bleiben winzig klein. Die Lösung ist klar, leicht grün opaleszierend und beständig."

„Alle Mischungen (Mischfarben) aus Chlorophyll und anderen organischen Farbstoffen bleiben in Lösung und sind auch gegen Licht ziemlich beständig."

„Diese Mischungen liefern mit Eiweiß schöne farbige Verbindungen, und zwar mit den verschiedenen Eiweißarten ganz verschiedene Farben."

Aus diesem Verhalten des Chlorophylls zieht Rähl mann theoretische Schlüsse über die Entstehung der Farbe der Blumenteile, über die Herbstfärbungen der Blätter, über die komplementäre chromatische Adaptation usw. Solche Schlüsse zu ziehen, ist meiner Ansicht nach schon deshalb verfrüht, weil es nicht bekannt ist, inwiefern „chlorophylli puri solutio aquosa" dem in den Pflanzen befindlichen Chlorophyll entspricht. Rähl mann bemerkt selbst, daß „über dessen Herstellung, soweit mir bekannt, nicht berichtet worden ist". Auch meine Untersuchungen der Pflanzenfarbstoffe (s. unten) bestätigen diese Schlüsse nicht. —

Rählmann[150]) hat das Ultramikroskop auch für die Eiweißbestimmung bei Albuminurie angewandt.

E. v. Behring[98]) hat sogar in Aussicht gestellt, daß für den Nachweis von Harnproteinen dem Ultramikroskop nach Siedentopf und Zsigmondy eine ähnliche Bedeutung in Zukunft zufallen könnte, wie sie der Polarisationsapparat für den Nachweis von Harnzucker besitzt. „Inzwischen habe ich", sagt er weiter, „mit meinen Marburger Mitarbeitern (Siebert, Römer, Much, Ziegenbein) die vergleichenden Proteinstudien — unter Anwendung der bekannten physikalisch-chemischen Methoden einerseits, der ultramikroskopischen Methode andererseits — unablässig fortgesetzt, und wir sind dabei zu solchen Ergebnissen gelangt, welche nach meinem Urteil einwandfrei beweisen, daß wir im ultramikroskopischen Apparat zum Nachweis von Proteinkörpern ein Reagens besitzen, welches so empfindlich ist, wie kein anderes unter den bis jetzt von der Physik und Chemie dargebotenen Reagentien."

Was die Vermutung über die praktische Anwendung des Ultramikroskopes für diese Zwecke anbetrifft, so ist dies — meiner Ansicht nach — nur dann möglich, wenn angenommen wird, daß alle Bestandteile des Untersuchungsmateriales (außer dem fraglichen Eiweiß) optisch leer sind. Diese Voraussetzung ist aber ziemlich unwahrscheinlich. Much, Römer und Siebert[136]) sagen selbst: „Die im normalen Harn sichtbar werdenden Teilchen sind offenbar Eiweißteilchen. Da der Harn normalerweise etwas Mucin enthält, und da die Mucinlösungen qualitativ dasselbe Bild darbieten wie die Lösungen des Bluteiweißes, so bestehen möglicherweise die sichtbaren Teilchen im normalen menschlichen Harn aus Mucin."

Much, Römer und Siebert[136]) haben bei ihren ultramikroskopischen Untersuchungen eine quantitative Verdünnungsmethode angewandt, mittels deren festgestellt wird, bei welcher Verdünnung einer Lösung von bestimmter Konzentration die Zahl der Teilchen sich so vermindert hat, daß im Gesichtsfeld nur noch drei bis vier vorhanden sind. Die gefundene Verdünnungszahl wird als „Ultrawert' bezeichnet.

Nach dieser Methode wurden Pferdesera, Milchsera, Harne, Tetanusgift, Tuberkulin- und Nukleinsäure usw. untersucht.

Michaelis[130]) ist mit dieser Methode nicht einverstanden, da nach seinen Untersuchungen die Anzahl der Submikronen „durchaus nicht proportional der Verdünnung abnimmt" und nach der Verdünnung ein leuchtender Kegel bleibt.

Behring[98]) hat gefunden, „daß Lösungen von genuinem Blutalbumin, solange als das Blutalbumin nicht in Globuline oder Albuminate umgewandelt ist, niemals sichtbare Teilchen enthalten, daß man

aber sofort in jeder Albuminlösung Teilchen ultramikroskopisch sichtbar machen kann, wenn man das Albumin durch die bekannten Methoden in Albuminat überführt und die Albuminatlösung durch Kohlensäureeinleitung (oder durch Essigsäure) bzw. durch kohlensaures Natron gegen Paranitrophenollösung (1 : 10 000) genau neutral macht".

Michaelis[130]) bemerkt, daß seine ultramikroskopischen Untersuchungen des Eiweisses sich „mit denen von Rählmann nur in einigen Punkten, mit denen von Römer, Much und Siebert nur wenig decken". Der genannte Forscher hat gefunden, daß die Eiweißlösungen ultramikroskopisch aus zwei Phasen bestehen, einer submikroskopischen und einer amikroskopischen, und daß die gleiche Eiweißlösung, je nachdem sie mit destilliertem Wasser oder mit physiologischer ClNa-Lösung hergestellt ist, eine sehr verschiedene Anzahl von Ultramikronen in der Raumeinheit zeigt.

Die Farbstofflösungen[129]) teilt Michaelis nach ihrem Verhalten im Ultramikroskop in folgende drei Gruppen:

1. „die optisch total auflösbaren", d. h. mit submikroskopischer und sogar mikroskopischer Struktur. Dazu gehören: Indulin, Violettschwarz, Anilinblau, Bayrischblau, verschiedene Suspensionen, Lösungen von Fuchsin in Anilinwasser und in heißer gesättigter ClNa-Lösung, dünne Lösung von Scharlach in Alkohol usw.;

2. „die partiell auflösbaren", d. h. aus submikroskopischen und optisch leeren oder amikroskopischen Phasen bestehenden. Z. B. die wässerigen Lösungen von Fuchsin, Methylviolett, Neutralrot, Capriblau, Pikrinsäure;

3. „die völlig unauflösbaren, aber fluoreszierenden Farbstoffe". Zu dieser Gruppe gehören alle echt fluoreszierenden Farbstoffe.

Von hohem Interesse ist die von Michaelis aufgestellte Regel, „daß diejenigen Farbstoffe, welche an sich Neigung haben, in körniger Form aufzutreten, gerade diejenigen sind, welche am leichtesten und in am wenigsten spezifischer Weise von allen möglichen organischen Substraten absorbiert werden".

Michaelis und Pinkussohn[132]) haben sehr interessante Untersuchungen über Kolloidumhüllung gemacht. Sie haben die Mischungen von Mastix- und Indophenollösungen ultramikroskopisch untersucht. Die erstere Lösung hat weiße Teilchen, welche anodisch wandern. Indophenol ist pseudofluoreszierend, hat rote Ultramikronen und wandert kathodisch. Die Resultate dieser Versuche waren folgende:

Bei passender blauer Mischung verliert die Indophenollösung ihre rote Pseudofluoreszenz, die Teilchen sehen im Ultramikroskop weiß aus. „Wo sind nun die roten Indophenolkörnchen geblieben? Die einzig annehmbare Erklärung ist die, daß die Indophenolkörnchen

sich an die Mastixkörnchen gebunden haben und von diesen in irgendeiner Weise verdeckt werden."

Diese Versuche zeigen, daß „die ultramikroskopische, wässerige Suspension des eigentlich wasserunlöslichen Indophenols durch Zusatz von Mastixsuspension in passendem Mengenverhältnis an der Kristallisation gehindert wird und mit diesem vermischt eine permanente Suspension bildet, welche prinzipiell nicht verschieden ist von einer kolloidalen Lösung. Die feinsten Teilchen bestehen aus einer Verbindung von Mastix mit Indophenol, und das in dieser Verbindung enthaltene Indophenol unterscheidet sich von freiem Indophenol durch seine Struktur."

Also kann man schließen, daß bei bestimmten Mischungsverhältnissen Mastix auf Indophenollösung schützend wirkt. Serumeiweiß schützt die Indophenollösung nur unvollkommen, Albumosen gar nicht, dagegen Lezithin sehr gut.

Gatin-Gružewska und Biltz[118]) haben sehr ausführliche ultramikroskopische Beobachtungen an Lösungen reinen Glykogens gemacht.

Gatin-Gružewska, Mayer und Schaeffer[119]) haben Stärkekleister ultramikroskopisch untersucht und gefunden, daß derselbe zwei Komponenten enthält. Die eine ist eine viskose Flüssigkeit, welche ein Gel darstellt. Der andere Teil enthält bewegliche Ultramikronen und stellt ein Sol dar. Der erstere Teil entspricht dem Amylopectin, der zweite der Amylose. Amylopectin zeigt ultramikroskopisch nur homogen leuchtende Kegel. Bei Zusatz von Alkohol erscheinen tausende beweglicher Körnchen. Die Amylose hat eine typisch submikroskopische Struktur. Sehr stark erhitzte, künstliche Stärke zeigt zuerst eine amikroskopische Struktur, dann aber entstehen Milliarden von beweglichen Submikronen, die sich nach und nach vergrößern.

Lemanissier[125]) hat mit Hilfe des Ultramikroskopes nach Cotton und Mouton gefunden, daß die ultramikroskopische Struktur einer Hämoglobinlösung der des Glykogens ähnlich ist. Die Hämoglobinlösung enthält sehr viele Submikronen, die aber nach 24 Stunden verschwinden. Er sagt weiter, daß der normale Urin keine echten Submikronen enthält. Der eiweißhaltige Urin unterscheidet sich bei der ultramikroskopischen Beobachtung nicht charakteristisch vom normalen Urin, und deswegen ist Lemanissier mit der Meinung von Behring und seiner Schule nicht einverstanden. Auch das Eiweißalbumin enthält nach Lemanissier sehr wenig Submikronen.

Lemanissier sagt, daß die Milch eine Suspension von Butter und eine kolloidale Lösung von Kasein enthält. Um die Submikronen des letzteren besser zu sehen, soll die Milch entbuttert und stark verdünnt werden. Die kleinsten Submikronen befinden sich in der Frauenmilch, größere in der Esels- und Kuhmilch und die größten in

der Schafmilch. Im allgemeinen sind die Kaseinsubmikronen viel regulärer und kleiner als die der metallischen Kolloide. Bei der gekochten Milch sind die Submikronen viel größer. Bei der Filtration durch das Chamberland-Filter behält dieses $^9/_{10}$ der Teilchen zurück. Nach der Behandlung mit Pottasche verschwinden die Kaseinteilchen. Wenn man zu der Milch Magensaft hinzusetzt, so verschwinden die Kaseinteilchen auch. Wenn man mit der auf 120 Grad erhitzten Milch dieselben Experimente macht, so geht das Verschwinden viel langsamer. Wenn man sehr kleine Mengen von Magensaft nimmt und sehr große von Milch, so entsteht eine Koagulation.

Das Blutserum enthält nach Lemanissier Submikronen, welche regulärer sind als die der Milch. Immunisiertes (antidiphtheritisches) Serum enthält mehr Submikronen als nicht immunisiertes. Mit der Zeit vergrößern sich die Teilchen wegen der Koagulation.

Kreidl und Neumann[121, 122]) haben die Milch der Kuh, des Kaninchens, der Katze, des Hundes und des Meerschweinchens ultramikroskopisch untersucht und dabei gefunden, daß diese Milch eine große Menge submikroskopischer Teilchen enthält, die sie Laktokonien genannt haben. Bei der Frauenmilch haben sie die Laktokonien nicht gefunden. Sie kommen zu demselben Schluß, wie Lemanissier, daß diese Teilchen aus Kasein bestehen.

Dujardin-Beaumetz[103]) hat die Wirkung der Rindersera auf die Kulturen der Erreger der Rinderperipneumonie — die durch geeignete Filtration von den Mikroben befreit wurden — untersucht. Diese Präzipitation zeigt makroskopisch nur eine Opaleszenz, aber keinen Niederschlag. Ultramikroskopisch sieht man folgendes. Wenn man das Serum eines normalen Rindes nimmt, so entstehen sehr zahlreiche schwachleuchtende Submikronen. Wenn man aber das Serum eines kranken Rindes nimmt, so entstehen weniger zahlreiche, aber stark leuchtende Submikronen.

Aggazzotti[93]) hat einige fermentative Prozesse ultramikroskopisch untersucht, z. B. die Wirkung der Diastase auf Stärke, die Wirkung von Papaiotin auf kolloidale Gelatinelösung usw.

Aus seinen ultramikroskopischen Untersuchungen der Farbstoffe schließt Ruhland[162]): „Es scheinen die basischen Farbstoffe im allgemeinen mehr nach der kristalloiden, die sulfosauren mehr nach der kolloiden Seite zu neigen".

Was die Aufnahme der Farbstoffe in der lebenden Zelle anbetrifft, so sagt Ruhland: „Es ließ sich in keinem Falle unzweifelhaft erweisen, daß der Grad der Kolloidität entscheidend oder wesentlich mitbestimmend für die Aufnahme der Farbstoffe in lebenden Zellen wäre. Da andererseits feststeht, daß die Diosmose u. a. auch durch die Größe der gelösten Moleküle mit entschieden wird, müssen wir

wohl annehmen, daß diese oder die Größe der „Ultramikronen" bei den Farbstoffen im allgemeinen oder durchweg unterhalb einer gewissen kritischen Grenze bleibt. Dafür scheint auch zu sprechen, daß wohl alle hochkolloidalen Farbstoffe leicht die Dialysemembran zu durchdringen vermögen, wenn sie in genügender Konzentration oder bei entsprechender Temperatur einwirken." —

Wenn auch die Resultate der hier besprochenen Untersuchungen sich nicht vollkommen decken, so bleibt die Bedeutung dieser Untersuchungen doch sehr groß. Aus dem bei ihnen beobachteten Größerwerden und Zusammentreten oder Kleinerwerden und Verschwinden der Ultramikronen kann man denselben Schluß ziehen, den Ostwald[187]) aus den Resultaten ultramikroskopischer und einiger anderer Untersuchungen gezogen hat. Der berühmte Chemiker sagt nämlich: „Es scheint endlich der seit einem Jahrhundert vergeblich gesuchte Nachweis für die körnige oder atomistisch-molekulare Beschaffenheit der Stoffe erbracht worden zu sein".

Aus dem Mitgeteilten kann man auch ersehen, was für große Bedeutung die ultramikroskopischen Untersuchungen genannter Stoffe für die Erklärungen der therapeutischen Wirkung verschiedener Medikamente, der Färbungsvorgänge und verschiedener physiologischer Prozesse haben.

IV. Untersuchungen des Blutes, der Tierzellen, der Spermien, der Augenmembranen usw.

Rählmann[153]), Michaelis[130]) und Rosenthal[161]) haben das Blut mit Hilfe des Ultramikroskopes nach Siedentopf untersucht.

Rählmann hat gefunden, daß man bei den Leukozyten den Zellinhalt als bunte, kaleidoskopisch durcheinander bewegte Masse sieht. Dieselbe Erscheinung hat er in den Speichelkörperchen, in den Endothelzellen und in den Pigmentzellen eines Goldfisches gesehen. Dieses bunte Bild entsteht nach ihm dadurch, „daß jedes Körnchen des Protoplasmas optisch hervortritt mit Beugungsringen, die bei der dichten Anordnung der Teilchen sich gegenseitig berühren und bei den Bewegungen der Teilchen sich fortwährend gegeneinander verschieben, überlagern etc., und so ein in stetiger Veränderung befindliches farbig buntes Bild bewirken. Die erwähnten Beugungsringe machen als störende optische Nebenerscheinung die Detailuntersuchung bei dicht zusammenliegenden, körnigen Teilchen sowohl als auch namentlich von zusammenhängenden histologischen Geweben unmöglich. Wenn aber alle oder ein-

zelne Teile der letzteren in Bewegung befindlich sind, so wird gerade durch diese Beugungserscheinungen die Lageveränderung um so mehr sichtbar werden . . . . . Da die einzelnen Körnchen, welche in zahlreicher Menge das Protoplasma zusammensetzen, nahezu gleich groß, und in demselben Körperchen von gleicher physikalischer Beschaffenheit zu sein scheinen, sind die bunten Ringe, welche (als Nebenerscheinung) auftreten, überall in der Zelle gleichmäßig vertreten. Sind nun in dieser Zelle größere Teile von anderer Dichtigkeit und Brechkraft neben den erwähnten Teilchen vorhanden, so können sie, besonders wenn sie sich bewegen, als gesonderte Scheiben sichtbar werden und sich vom bunten Inhalt der Zelle deutlich abheben."

Solche größeren Kügelchen hat Rählmann in Speichelkörperchen, in Leukozyten, in Erythrozyten von Amphibien, Reptilien und Fischen gesehen. In frischen Erythrozyten von Menschen wurden nur Interferenzringe sichtbar, aber schon nach kurzer Zeit wurden Granulierung und einige bewegliche Körperchen beobachtet. Die Kügelchen beschreiben „unregelmäßige, eckige und verschlungene Wege". Die Gebilde, welche aus Leukozyten entstehen, haben lebhafte Eigenbewegung, indem ihre Teile die Lage gegenseitig stets ändern. Diese Gebilde sind zuweilen sehr klein und bestehen aus fünf bis sechs Submikronen. Auch in den im Blut vorhandenen kleineren Zellen befinden sich bewegliche Teilchen. In den Erythrozyten vom Frosch, Salamander, Goldfisch und Taube sind die Kerne bisweilen deutlich sichtbar. Außerdem hat Rählmann in Blut, Speichel, serösen Flüssigkeiten und Exsudaten einzelne bewegliche Submikronen („Eiweißteilchen") gesehen.

Michaelis[130]) vertritt die Meinung, daß das Ultramikroskop nach Siedentopf, nicht ohne weiteres zur Betrachtung gröberer histologischer Objekte geeignet ist. „Das liegt daran" — sagt er — „daß überall statt scharfer Konturen mehrere Beugungsringe zu sehen sind und daher immer dann, wenn mehrere Konturen dicht beieinander liegen, die verschiedenen Beugungsringe sich überdecken und ein unentwirrbares Netzwerk statt einfachen Linien geben." So kann man sich z. B. das ultramikroskopische Bild eines Leukozyten im gefärbten Präparat vergegenwärtigen, „wenn man sich statt eines jeden Granulum eine Reihe konzentrischer Ringe um seinen eigentlichen Ort denkt. Die sich überkreuzenden Lichtringe geben ein völlig unentwirrbares flimmerndes Netzwerk von Licht und es bedarf schon einiger Erfahrung, um rückwärts aus diesem Lichtbild auf das Vorhandensein von Granulis in der Zelle zu schließen, und auch dann wird man über ihre eigentliche Form nichts aussagen können. Jedoch gibt es einzelne histologische Objekte, bei denen das Ultramikroskop auch

gute Dienste leistet. Das sind solche Objekte, die sich in ihrem Wesen mehr den im ersten Teile betrachteten Suspensionen feinster Körnchen in einem homogenen Medium nähern. Als hervorragend schönes Objekt für diesen Zweck fand ich die basophilen Granulationen der roten Blutkörperchen, welche bei verschiedenen Anämien auftreten. Es fanden sich hier in einem homogenen Medium des so gefärbten Protoplasmas des roten Blutkörperchens einzelne Inhomogenitäten, eben jene Körnchen, welche meist genügend weit auseinander liegen, daß die Beugungsringe, die um jedes einzelne herum entstehen, sich nicht allzusehr überdecken. Während nun bekanntlich diese Körnchen der roten Blutkörperchen selbst im gefärbten Präparat zu denjenigen Objekten gehören, welche mit guten Objektiven manchmal eben gerade nur noch auflösbar erscheinen (wenn es auch gröbere gibt), so bilden mit dem Ultramikroskop diese Körnchen geradezu Riesenobjekte dadurch, daß man sie nicht selbst sieht, sondern konzentrische Lichtringe um diejenige Stelle, an der sie eigentlich liegen. Ja, es gelingt sogar in den Präparaten, in denen die Körnchen einigermaßen zahlreich sind, sie mitunter in solchen Blutkörperchen nachzuweisen, bei denen man sie mit dem gewöhnlichen Mikroskop gar nicht oder nur mit einiger Einbildung sehen kann."

Durch seine Beobachtungen an Hühnerblut mit stärkster Vergrößerung und mit dem Ultramikroskope kommt Rosenthal[161]) unter anderem zu folgenden Ergebnissen: „Im normalen unveränderten Hühnerblut finden sich Blutstäubchen nur in geringer Zahl. In größerer oder sehr großer Menge treten aber submikroskopische Teilchen jedesmal auf, wenn das Hühnerblut in vitro mit Salzlösungen verdünnt oder die Blutkörperchen irgendwie geschädigt werden." „In Hühnerblutpräparaten sieht man, zuweilen in großer Zahl, unter nicht festzustellenden Bedingungen zarteste, glatte, flexile Fädchen aus den Erythrozyten entstehen." Ähnliche Fädchen kann man zuweilen in Mäuseblut beobachten. „In Übereinstimmung mit Weidenreichs Ausführungen ist anzunehmen, daß die reifen Erythrozyten des Huhnes bestehen: aus dem Kern, dem hämoglobinhaltigen, wasserlöslichen Endosoma und der wasserunlöslichen Hüllschicht; letztere ist vermutlich zähflüssig, aber nach außen durch ein Niederschlagshäutchen begrenzt. Aus ihrer Substanz sind die Fadenbildungen abzuleiten. Für oder gegen das Bestehen des Randreifens ist aus den vorstehenden Beobachtungen nichts abzuleiten, sonstige Strukturen in den roten Blutkörperchen des Huhnes sind aber nicht anzunehmen." —

Davis[100]) hat gefunden, daß die Erythrozyten ultramikroskopisch körnig erscheinen, besonders nach der Entfernung des Hämoglobins. Die Granulationen der Leukozyten erscheinen beweglich. Die stärkste Bewegung ist in den Teilen, wo eine amöboitale Bewegung oder eine

Bildung der Pseudopodien stattfindet. Davis hat vibrierende Cilien auf den Ependynzellen gesehen, die er bei gewöhnlicher Beleuchtung nicht sehen konnte.

Die Submikronen, welche sich im flüssigen Bestandteil des Blutes befinden, sind viel besser sichtbar mit dem Paraboloidkondensor nach Siedentopf oder mit dem Reichertschen Spiegelkondensor. Aber auch für die Untersuchung der Struktur der Blutkörperchen leistet nach Dietrich[101, 102]) — der Paraboloidkondensor sehr gute Dienste. Dietrich[101]) sagt, daß die Mikrophotogramme der Blutkörperchen, welche er und Scheffer[163]) gemacht haben, erlauben, „zu der Frage nach dem Bau der Blutkörperchen eindeutig Stellung zu nehmen. Sie lassen sich alle am besten verstehen mit der Vorstellung, daß die Blutkörperchen Bläschen sind (Protoplasma und Lipoide), die ein flüssiges Endosoma, vorwiegend Hämoglobin, einschließen, ohne Gerüstwerk, ohne sogenanntes Stroma. Eine Membran in dem Sinne einer besonderen isolierten Oberflächenschicht besteht nicht, das ganze Plasma bildet die Hülle. So schließt sich die Beobachtung im Dunkelfeld bestätigend, ergänzend und wohl auch erweiternd den Beobachtungen an, die Weidenreich für die Bläschennatur der Blutkörperchen zusammengestellt hat."

Dietrich bemerkt sogar, die Bilder von Leukämie glichen im ganzen denen bei Photographie im ultravioletten Lichte, nur sei die optische Auflösung entsprechend der geringeren Apertur des Systems nicht so fein, aber der Vorteil liege bei der Dunkelfeldbeleuchtung in der Möglichkeit der direkten Beobachtung und leichteren Technik. „Die volle Schönheit des Paraboloids trat mir aber entgegen", sagt er dann weiter, „bei der Untersuchung des Blutes einer schweren Verbrennung. Alle Formen der Zerstörung der Blutkörperchen füllten das Gesichtsfeld, Stechapfelformen mit Ablösungen am Rand, Mikrozyten, Schatten, Myelinfiguren bis zu den kleinsten lebhaft tanzenden Zerfallsprodukten — ein Trümmerfeld in strahlendem Glanz, während die direkte Beobachtung nur den kleinsten Teil erkennen ließ und das gefärbte Präparat kaum eine Vorstellung gab von der schweren Schädigung, die diese Blutveränderung für den Organismus bedeutet." Auch zeige der Paraboloidkondensor außer den im direkten Lichte erkennbaren Veränderungen „Vorgänge an der Oberfläche, die auf Verdichtungen oder Niederschlagsbildungen bezogen werden können, und im Blutschatten können wir uns leicht von feinen, glänzenden Niederschlägen überzeugen, die einer direkten Beobachtung überhaupt nicht zugänglich sind".

Beer[96]) hat bei Dunkelfeldbeleuchtung im Menschenblut wellenartig sich schlingende Fäden gesehen, die denen ähnlich waren, welche Rosenthal in Hühnerblut beobachtet hat. Außerdem hat Beer im

Menschenblut noch andere Fäden gesehen, welche aus kettenartig aneinander gelagerten Kügelchen bestanden.

Neumann[137]) hat Blut mit dem Reichertschen Spiegelkondensor untersucht und dabei gefunden, daß das Bild der Leukozyten den Bildern ähnlich ist, die Rählmann mittels des Ultramikroskopes nach Siedentopf gesehen hat.

Auf Grund seiner Versuche kommt Neumann zu dem Schlusse, daß es fast als sicher erscheint, „daß die nach Fettgenuß im Blutplasma massenhaft auftretenden ultramikroskopischen Körnchen resorbiertes Fett sind. Diese Untersuchungsmethode kann für die klinischen Zwecke dienstbar gemacht werden."

Zu einem ähnlichen Schlusse ist auch Reicher[157]) gekommen. Der letztere hat auch die Vermehrung der Fette, des Lezithins und Cholesterins im Blute bei gewissen Erkrankungen ultramikroskopisch nachgewiesen. —

Sehr schön sind die Mikrophotogramme von menschlichen Spermien, welche Posner[144]) und Scheffer[163]) mit Hilfe des Paraboloidkondensors gemacht haben. „Vergleicht man diese Aufnahmen", sagt Posner, „mit dem Mevesschen Schema, so wird man zugeben müssen, daß fast alles dort dargestellte auch hier, bald deutlicher, bald andeutungsweise, enthalten, und somit als präformiert erwiesen ist, während in der Darstellung der Plasmamassen die Dunkelfeldaufnahmen entschieden vieles Neue erkennen lassen." Nach der Überzeugung von Posner „sind diese Aufnahmen ein neuer Beweis dafür, daß wir die eigentlich lebende, aktive Substanz des Spermium in der Tat im Verbindungsstück zu suchen haben."

Posner[143]) hat auch gezeigt, daß die Dunkelfeldbeleuchtung bei Benutzung schwacher Vergrößerungen für die Harnuntersuchung sehr gute Dienste leistet. In dieser Arbeit von Posner finden sich sehr schöne Abbildungen von Eiterzellen, Epithelzellen, Harnzylinder, Kristallen usw. Die Gonokokken werden aber nicht sichtbar. Überhaupt empfiehlt er die Dunkelfeldbeleuchtung sehr für die klinische Diagnostik, weil bei der Anwendung dieser Methode nicht nur ein feiner Überblick ermöglicht wird, sondern mancherlei Feinheiten sichtbar werden, „die sonst nur bei Färbungen oder mikrochemischen Reaktionen deutlich hervortreten" (Kerne, Granulationen, Fetteinlagerungen usw.). „Übrigens verspricht sich reicher Gewinn", sagt Posner weiter, „für feinere morphologische Studien (Steinbildungen, Zystolyse, Entstehung der Zylinder usw.)." Er empfiehlt diese Methode „eindringlichst für mikroskopische Kurse", da man den Anfängern das Wesen des Protoplasmas, den Bau einer Zelle, im besonderen eines Leukozyten, die Struktur eines Harnzylinders am besten klar

machen könne, wenn man ihnen die entsprechenden Bilder zuerst im Dunkelfelde zeige.

Peschel[141]) hat die strukturlosen Augenmembranen ultramikroskopisch untersucht. In den Membranen Bowman, Descemet und in Zonula hat er inhomogene Abbildungen gesehen, und aus diesen Abbildungen mit vollem Recht geschlossen, daß diese Membranen eine Struktur besitzen. Die Vorderkapsel und die Hinterkapsel einer 50jährigen Frau und eines ausgewachsenen Pferdes waren strukturlos, dagegen hatten die der neugeborenen Kinder eine Struktur. Der Linsenäquator einer 50jährigen Frau war strukturlos. Peschel versucht auch, den Unterschied zwischen den Membranen der Neugeborenen und der Erwachsenen zu erklären.

Rählmann[156]) hat das Pigmentepithel der Netzhaut verschiedener Tiere und Menschen untersucht und gefunden, daß bei den niederen Tieren und Säugern die erste Ablagerung des Pigmentes in Körnerform stattfindet, und daß die Stäbchenform des Pigmentes erst später angetroffen wird. Wenn man das Retinalpigment in physiologischer Kochsalzlösung auspinselt oder ausschüttelt, so erhält man eine Art Lösung des Pigments. Bei ultramikroskopischer Beleuchtung „wimmelt das Gesichtsfeld von kleinsten Pigmentteilchen". Bei der Hellfeldbeleuchtung sind nur wenige, kleine Teilchen zu sehen. Ultramikroskopisch sieht man auch, daß die längeren Stäbchen in kleinere zerfallen. Bei den Pigmentteilen kann man ultramikroskopisch einen fundamentalen Unterschied zwischen Stäbchenpigment und Körnerpigment erkennen. Das Körnerpigment ist tiefrotbraun, das Stäbchenpigment ist hellbraungelb. Über Rählmanns Untersuchungen des Trachoms werden wir im nächsten Kapitel sprechen. —

Die Zahl der Arbeiten, welche den in diesem Kapitel besprochenen Objekten gewidmet sind, könnte man noch vergrößern. Es erscheinen immer neue Untersuchungen, die sich mit den genannten Fragen befassen. Aber schon die hier angeführten Abhandlungen zeigen vollkommen klar, daß man mittels der Dunkelfeldbeleuchtung nicht nur die Submikronen beobachten kann, die sich in Blut- und Milchsera oder in Flüssigkeiten zerquetschter Präparate befinden, sondern auch viele wichtige, zytologische Beobachtungen machen kann. Mittels aller angewandten Dunkelfeldbeleuchtungsmethoden wurde die Bewegung der Teilchen in den Leukozyten sehr schön gesehen, und auch zu der Struktur der Erythrozyten ziemlich einstimmig Stellung genommen, nämlich, daß diese Struktur den Weidenreichschen Ansichten entspricht. Bei den lebenden Spermien wurden Einzelheiten gesehen, die sonst nur durch Fixierungs- und Färbungsmethoden konstatiert werden, und auch einiges ganz Neues beobachtet. Diese Tatsachen widerlegen vollkommen die ganz unbegründete Meinung,

daß für die morphologisch-zytologischen Beobachtungen die Dunkelfeldbeleuchtung nicht geeignet ist. Die Dunkelfeldbeleuchtung dient nicht nur zur Ergänzung der Hellfeldbeleuchtung und der Fixierungs- und Färbungsmethoden, sondern sie gestattet auch, etwas ganz Neues zu sehen. Gewiß, verdrängen kann die Dunkelfeldbeleuchtung die vorhergenannten Methoden nicht. Die Dunkelfeldabbildungen sollen mit denen der Hellfeldbeleuchtung der besseren Orientierung wegen immer verglichen werden. Die Fixierungs- und Färbungsmethoden werden immer für die Mikrochemie, Bakteriologie, medizinische Diagnostik usw. von hervorragender Wichtigkeit sein. Die Dunkelfeldbeleuchtung hat aber gegenüber den genannten Methoden einen sehr großen Vorteil, weil man bei ihr die lebenden und nicht durch verschiedene Chemikalien veränderten Objekte beobachten kann, wie dies die angeführten Untersuchungen der Blutkörperchen und der Spermien zeigen. Auch die bei der Hellfeldbeleuchtung strukturlosen Augenmembranen zeigen bei der Dunkelfeldbeleuchtung das Vorhandensein einer Struktur.

Alles in diesem Abschnitte Gesagte, hoffe ich, vollkommen klar und ausführlich zu bestätigen in dem Kapitel, welches meinen eigenen zytologischen Untersuchungen gewidmet ist. Im nächsten Kapitel aber werde ich zuerst zu den bakteriologischen Beobachtungen übergehen, die mit den hier besprochenen eng verbunden sind.

V. Bakteriologische Untersuchungen.

1. Untersuchungen mittels Ultramikroskops nach Siedentopf und Zsigmondy und mit dem Ultramikroskop nach Siedentopf.

Rählmann[151, 152]) hat die Bakterien mit Hilfe des Ultramikroskopes nach Siedentopf und des Ultramikroskopes nach Siedentopf und Zsigmondy untersucht und gefunden, daß die Bakterien ganz verschieden aussehen, „je nachdem sie von vorn, im Profil oder von der Seite beleuchtet werden". Wenn die Stäbchenbakterie en face betrachtet wird, so hat sie eine Biskuitform, im Profil dagegen wird ein Strichpunkt sichtbar. Wird endlich die Bakterie von oben beobachtet, so erscheint nur ein Scheibchen. Die Bakterien, welche nach allen Dimensionen ultramikroskopisch sind, werden immer als Scheibchen erscheinen. Die Abbildungen sind mit Beugungskonturen umgeben.

In den faulenden Eiweißlösungen wurden nicht nur kugelige Formen, sondern auch aus zwei, drei und mehr hintereinander ge-

reihten Kugeln bestehende Organismen gesehen. Diese Bakterien krümmen sich zuweilen bei ihrer Bewegung, wobei S-förmige bis säbelförmige Formen entstehen. „Häufig sieht man auch Veränderungen des Dickendurchmessers der Stäbchen.“ Relativ häufig beobachtet man „zwei solcher Stäbchen der Längsrichtung nach, hintereinander gereiht und durch eine schmale Brücke miteinander verbunden, welche, jedes für sich in lebhafter Bewegung, gemeinsam durch das Gesichtsfeld zogen“. Welche Bedeutung diesem Verhalten der Kopulation zukommt, vermag Rählmann vorerst nicht zu sagen. Mit der Zeit vermehrt sich die Zahl der Bakterien, dagegen vermindert sich die Zahl der Eiweißteilchen. Einige Zeit darauf sterben die Bakterien dann ab. Bei Zusatz verschiedener und verschieden starker antiseptischer Flüssigkeiten erlischt das Leben der Bakterien verschieden rasch. Bei Durchleitung eines schwachen Stromes hat Rählmann bemerkt, „daß bei Schluß des Stromes momentan die ganze Kolonne von Eiweißkörpern und Bakterien sich ruckweise nach dem positiven Pol verschob und bei Aufhebung des Kontaktes sich wieder in die ursprüngliche Lage zurückbegab. Nach Durchleitung des Stromes war in der Küvette aber kein Leben mehr zu bemerken.“ Im allgemeinen kommt Rählmann zu folgenden Schlüssen: „1. Es sind in faulenden Eiweißlösungen mehrere Arten bisher unbekannter, ultramikroskopischer Mikroorganismen in steter Eigenbewegung vorhanden; 2. Es lassen mehrere derselben typische Veränderungen ihrer Körperform erkennen. Das gleiche gilt für die Bakterien in den Sekreten der Schleimhäute.“ Im Konjunktivalsekret fand er „bei verschiedenen Affektionen eine Reihe ultramikroskopischer Organismen, welche mit außerordentlicher Geschwindigkeit sich bewegen“.

Im Follikelinhalt und im Trachomsekret[154]) hat Rählmann Bakterien gefunden, die ausgesehen haben, „1. wie biskuit- bis hantelförmige Gebilde; 2. wie Stäbchenreihen oder Ketten; 3. wie Doppelgebilde, aus zwei Kugeln bestehend, die in der Richtung ihrer Verbindungslinie spitz ausgezogen sind; 4. wie ganz kleine hantelförmige Stäbchen und 5. wie punktförmige bis kugelförmige Teilchen. Die Formen 3, 4 und 5 sind unter allen Umständen ultramikroskopisch und bei Anwendung der gewöhnlichen Immersionssysteme unsichtbar.“

Rählmann vermutet, daß diese fünf Erscheinungsformen verschiedenen Entwicklungsphasen eines und desselben Organismus entsprechen. Er begründet diese Annahme mit der, meiner Meinung nach, wenig beweisenden Tatsache, daß er zu verschiedenen Zeiten verschiedene vorherrschende Formen gefunden hat. Die Bakterien waren stark beweglich. Die schon erwähnte Vereinigungserscheinung der Bakterien erklärt Rählmann folgendermaßen: „es scheint sich bei diesem Aneinanderhaften zweier oder auch mehrerer Bazillen um

eine Verstrickung ihrer unsichtbaren Bewegungsorgane zu handeln, da man z. B. bei nebeneinander geordneten Bazillen optisch beide durch einen, wenn auch schmalen Zwischenraum getrennt sieht. Es kann sich aber auch um die Wirkung einer biologischen oder physikalischen Funktion handeln, durch welche eine Aggregation herbeigeführt wird; dafür spricht der Umstand, daß diese Aggregation um so mehr beobachtet wird, je mehr die Bewegungen der Bazillen beim Absterben derselben nachlassen, d. h. je langsamer dieselben werden."

Über die Adhäsion der Bakterien am Deckglas spricht Rählmann folgendes: „Hier bleiben sie häufig mit einem Körperende infolge der Adhäsionskraft haften, man sieht sie jetzt um den Kohäsionspunkt herumzappeln, die auffälligsten Bewegungen ausführen, um sich loszumachen. Bisweilen gelingt ihnen das, meistens aber nicht, und dann kommt bald der Körper zur Ruhe, indem er tot auf das Deckglas niederschlägt." Nach einiger Zeit wird das ganze Deckglas von solchen Bakterien bedeckt. Später verwandeln sie sich in gelbe Körner. Er vermutet, daß hier eine Sporenbildung stattfindet.

Außer den genannten Formen sind noch aus zwei zusammengehörenden, gelblichen Kugeln bestehende Gebilde zu sehen. „Die Kugeln sind in der Richtung einer Verbindungslinie spitz ausgezogen, derart, daß die Mitte der Verbindungslinie unsichtbar bleibt." Rählmann vermutet, daß es sich hier um Teilungsvorgänge der Stäbchen handelt. Direkt gesehen hat er aber solche Teilungen nicht. Er hat auch bemerkt, daß die Bazillen in Protoplasmateile eindringen und bisweilen sieht es so aus, als wenn dabei „kleine Reste des Gewebes von Mikroorganismen mitgeschleppt werden".

In seinen Trachomuntersuchungen kommt Rählmann zu dem Schlusse: „auch durch die ultramikroskopischen Untersuchungen wird die Frage nach dem Krankkeitserreger bei Trachom, obwohl wir mittels der neuen Untersuchungsmethode ca. tausendmal mehr, d. h. kleinere Teile zu sehen vermögen, nicht gelöst" und vermutet, daß die Erreger vielleicht nicht nur Bakterien sind, sondern daß es auch „bewegliche, den Protozoen ähnliche Protoplasmateile" sind, und das einzige Sichere, das er seinen Trachomuntersuchungen entnehmen kann, ist folgendes:

1. „Das Vorhandensein von kleinsten, äußerst beweglichen Mikroorganismen bei Trachom, welche, so lange das Sekret körperwarm aufbewahrt wird, lebensfähig und proliferationsfähig bleiben. Wenn das Sekret erkaltet, büßen die Bazillen ihre erstaunliche Bewegung völlig ein, aber sobald das Sekret wieder erwärmt wird, erwachsen nach einiger Zeit auch sie wieder zu neuem Leben; erst die Eintrocknung des Sekretes vernichtet sie vollständig."

2. „Finden wir kleinste Protoplasmamassen mit Eigenbewegung, darunter offenbar abgestoßene oder richtiger gesagt wandernde Zell- und Kernteile, welche auch außerhalb des Gewebes im feuchtwarmen Zustande längere Zeit leben bleiben. Manche derselben sind nach Form und Bewegung den Protozoen nicht unähnlich."

3. „Finden wir kleinste graue und gelbe Kugeln, welche vielleicht zwischen den beiden genannten Gebilden in der Mitte stehen. Sie sind von den kleinsten Formen der Mikroorganismen nur durch die Bewegung der letzteren verschieden. Sie finden sich massenhaft im Sekret, aber auch innerhalb der großen Trachomzellen und innerhalb der beschriebenen ausgewanderten Protoplasmamassen."

„Die angeführten drei Bestandteile, Bakterien, Protoplasmakörper und gelbe Kugeln sind das wesentliche bei der Infektion."

Die Frage: „an welche dieser Teile des Sekretes knüpft sich das Kontagium?" läßt Rählmann offen.

Sehr interessant ist es, diese Untersuchungen mit den später erschienenen Arbeiten über den Trachomerreger von Greef und anderen zu vergleichen.

Die von Rählmann angegebenen und gezeichneten Formen der ultramikroskopischen Abbildungen der Bakterien werden durch die Mikrophotogramme von Siebert[164]) bestätigt. Dieser hat mit Hilfe des Ultramikroskopes nach Siedentopf ungefärbte und gefärbte Tuberkelbazillen, Diphtheriebazillen, Milzbrandbazillen, Tetanussporen und Bacterium coli aufgenommen. —

Mit Hilfe des Zeissschen Ultramikroskopes nach Siedentopf habe ich folgende Bakterien untersucht[108]).

1. Bacillus typhi Gaffky. Die Typhusbazillen aus einer reinen, frischen Kultur habe ich in lebendem Zustande untersucht. Die Bazillen waren sehr schön beweglich und ihre Abbildung war folgende: Von oben oder von unten gesehen, hat der Bazillus die Form eines Punktes (Fig. 7 *a*). Von der Flachseite dagegen erscheint er biskuit- bis 8förmig (Fig. 7 *b*). Die Abbildung kann man mit den Formen einiger Desmidiaceen vergleichen, z. B. Cosmarium. Bei der Bewegung ändern die Bazillen ständig ihre Lage. Entweder befinden sie sich in vertikaler Stellung, dann ist nur ein Punkt zu sehen, oder sie befinden sich in horizontaler Stellung und dann zeigen sie einen biskuit- oder 8förmigen Körper. Die Umwandlung geht sehr schnell vor sich und ist im Ultramikroskop sehr schön und klar zu beobachten. So sehen die Bakterien bei scharfer Einstellung aus. Wenn man die Mikrometerschraube nur ein wenig nach oben dreht, so entstehen außer den Beugungsringen genau in der Mitte der Einschnürung des biskuit- oder 8förmigen Körpers zwei strahlenartige Büschel (Fig. 7 *c*). Bei der Anwendung der Apochromate erscheinen die Bazillen ganz weiß.

Dagegen zeigen sich bei der Anwendung der Achromate farbige Säume. Einige Bazillen sind viel länger und bestehen nicht aus einem, sondern aus zwei oder mehreren solcher biskuit- oder 8förmigen Körper. Diese langen Bildungen (Fig. 7 *d*) sind die Stadien der Teilung. Solche fadenähnliche Bildungen zerfallen in

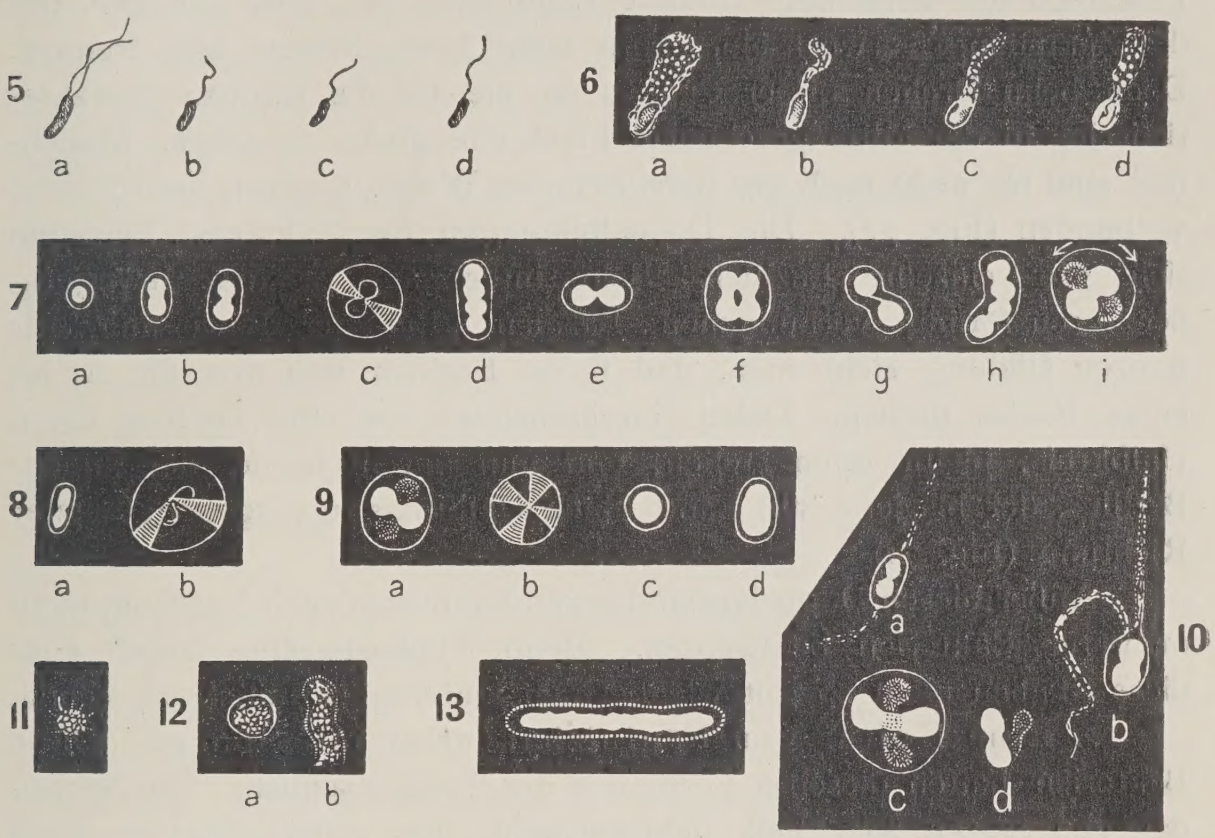


Fig. 5—13. Abbildungen der Bakterien im Ultramikroskop nach Siedentopf (Fig. 7—13 schematisch).

Fig. 5 *a*, *b*, *c*, *d*. Microspira Comma bei gewöhnlicher Beleuchtung.

Fig. 6 *a*, *b*, *c*, *d*. Dasselbe bei Dunkelfeldbeleuchtung.

Fig. 7. Bacillus typhi. *a* von oben gesehen; *b* von der Flachseite gesehen; *c* Beugungsbüschel; *d* Teilungsstadium; *e* Vereinigungsstadium von oben gesehen; *f* Vereinigungsstadium von der Flachseite gesehen; *g* Vereinigungsstadium beim Auseinandergehen von oben gesehen; *h* Vereinigungsstadium beim Auseinandergehen von der Flachseite gesehen; *i* kreuzförmige Vereinigung.

Fig. 8. Microspira Metschnikoffi. *a* von der Flachseite gesehen; *b* Beugungsbüschel.

Fig. 9. Die sporenbildenden Bakterien. *a* kreuzförmige Vereinigung; *b* Beugungsbüschel derselben; *c* Spore von oben gesehen; *d* Spore von der Flachseite gesehen.

Fig. 10. Bakterien aus der Myxomycetenkultur. *a*, *b* Individuen mit Geißeln; *c* Vereinigung; *d* Zusammengeklapptes Teilungsstadium.

Fig. 11. Agglutinationsstadium.

Fig. 12. Sprungfederförmiger Organismus. *a* zusammengerollt; *b* ausgerollt.

Fig. 13. Fadenförmige Bakterie.

einzelne Bazillen, die ebenfalls die schon oben beschriebene Form haben.

Außer diesen Teilungsstadien habe ich noch eine andere sehr interessante Erscheinung beobachtet, die auf den ersten Blick der Vereinigung zweier Bazillen ähnelt. Von oben gesehen, ist dieses „Vereinigungsstadium“ von der biskuit- oder 8förmigen Seitenform

der Bazillen schwer zu unterscheiden. Man sieht auch zwei Punkte, die eine 8 bilden (Fig. 7*e*). Sie zeigen aber nicht das charakteristischen Beugungsbüschel. Dreht sich diese 8förmige Bildung auf die andere Seite, so sieht man, daß sie aus zwei biskuitförmigen Bazillen besteht (Fig. 7*f*). Beide Bazillen gehen sehr oft auseinander. Dieses Losreißen der genannten Bildung kann man, von oben gesehen, mit der Zellteilung verwechseln. Man sieht beide Punkte sich trennen. Doch beim Drehen dieser Punkte ist die für die Bazillen charakteristische, in der Mitte geschnürte Flachseite gleich zu sehen. Manchmal sind sie nicht nach der beschriebenen Weise, sondern kreuzförmig verbunden (Fig. 7*i*). Die Doppelbildungen der Bakterien bewegen sich wie einzelne Bazillen. Sehr interessant ist die Bewegung der kreuzförmig verbundenen Bazillen. Bei der Bewegung der ganzen Bildung sieht man, daß beide Bazillen sich wie die Achse eines Rades drehen. Dabei durchschreitet der eine Bazillus einen Halbkreis, bleibt dann stehen, und nun durchschreitet der andere Bazillus, der bis jetzt still stand, einen Halbkreis in entgegengesetzter Richtung (Fig. 7*i*).

Außer diesen Doppelverbindungen kann man auch Vereinigungen mehrerer Bakterien beobachten. Beim Typhusbazillus waren aber diese Stadien nicht so gut wie bei den anderen (s. unten) zu sehen.

2. Eine Kultur von Fäulnisbakterien mit Sporen. Diese Bakterien hatten dieselbe Form wie die Typhusbazillen. Die Sporen dagegen waren sehr hell, lichtbrechend, von oben gesehen rund (Fig. 9*c*), von der Flachseite gesehen etwas länglich (Fig. 9*d*). Bei diesen Bakterien waren besonders viel Vereinigungsstadien, die meistens aus kreuzförmig verbundenen Individuen bestanden. Nicht alle dieser Vereinigungsbildungen waren beweglich. Je ausgesprochener die kreuzförmige Verbindung war, und je heller die gemeinsame kugelförmige Hülle aussah, desto unbeweglicher waren die genannten Bildungen.

3. Microspira Metschnikoffi, eine frische Reinkultur. Die Flachseite dieser Bakterien wie auch der Typhusbazillen ist in der Mitte eingeschnürt. Doch sind die beiden Hälften nicht kreisförmig, sondern in entgegengesetzter Richtung gekrümmt (Fig. 8*a*). Die Größe dieser Krümmungsecke verändert sich bei der Bewegung der Bakterien. Einmal vergrößert, dann wieder verkleinert sich die Ecke. Dies zeigt, daß der Körper der Bakterien seine Form verändert und die Veränderung entsteht durch die Seitenbewegung der beiden Hälften. Auch die beiden Hälften der Beugungsbüschel liegen nicht immer koaxial, sondern bilden oft eine Ecke (Fig. 8*b*). Andere Erscheinungen dieser Bakterien (Teilungsstadien, Vereinigungsstadien usw.) sind denen des Typhusbazillus gleich.

4. Microspira Comma, ein mit Silber gefärbtes Dauerpräparat mit schön sichtbaren Geißeln (Fig. 5 u. 6). Die Abbildung des Cholerabazillus ist fast dieselbe wie die der Microspira Metschnikoffi. Doch die Doppelförmigkeit der flachen Seite sieht nicht so klar aus, was vielleicht davon kommt, daß die Bakterien gefärbt sind. Die Geißeln erscheinen außerordentlich breit und aus einzelnen Teilen bestehend. Das letztere hängt vielleicht nicht von der Substanz der Geißeln ab, sondern von den Stoffen, mit denen die ersteren behandelt wurden.

5. Die Bakterien aus der Myxomycetenkultur. Bei den Kulturen der Myxomyceten in Kohlblätterdekokt entwickeln sich in großer Masse die Bakterien, die im Leben der Myxomyceten eine große Rolle spielen. Die Abbildungen dieser Bakterien sind denen der Typhusbazillen und der Mikrospiren ähnlich. Aber sie unterscheiden sich dadurch, daß die Geißeln einiger schon im lebenden Zustande sichtbar sind. Die Sichtbarmachung der Geißeln der Bakterien im lebenden Zustande gestattet, die Bewegungen der letzteren genauer zu untersuchen. Die Geißeln sind manchmal polar, manchmal den verschiedensten Teilen des Körpers entsprungen. Manchmal sieht man, daß die Bakterien mit einer unbeweglichen Geißel auf der Oberfläche des Glases oder anderer im Präparat befindlichen Substanzen festkleben und mit Hilfe der anderen Geißeln sich bewegen (Fig. 10*b*). Auch bei der freien Vorwärtsbewegung eines Individuums bleibt eine Geißel unbeweglich (Fig. 10*a*). Die Geißeln dieser Bakterien erscheinen dünn und aus amikroskopischen Teilchen bestehend.

Auch bei diesen Bakterien war sehr klar zu sehen, daß deren Körper fähig ist, seine Form stark zu ändern. Diese Veränderung kommt nicht nur in der bei Microspira Metschnikoffi beschriebenen Weise vor, sondern entsteht auch durch Biegen und Krümmen des Körpers. Einmal sah ich, wie zwei Individuen in solch einem bogenförmig gekrümmten Zustande ein Vereinigungsstadium bildeten (Fig. 10*c*). Weiter habe ich bemerkt, daß zwei im fadenförmigen Teilungstadium befindliche Individuen sich zusammenklappten (Fig. 10*d*). Die anderen Bakterien aus derselben Kultur erschienen als längliche zylindrische Fäden und zeigten keine Doppelförmigkeit (Fig. 13).

Bei diesen Bakterien, ebenso wie bei den anderen, welche sich in verschiedenen frischen Präparaten mit Algen, Protozoen usw. befanden, konnte ich viele größere und aus mehreren Individuen bestehende Vereinigungsstadien sehen, wie dies bei den vorhergenannten Objekten der Fall war. Diese Individuen waren nicht planlos in Häufchen vereinigt, sondern nach ganz bestimmter Regel. Sie bildeten ganz regelmäßige, sonderbar aussehende Körper (Fig. 11), die an

Flagellatenkolonien (Volvox, Gonium usw.) erinnerten. Diese Vereinigungen waren beweglich. Es ist z. B. nicht selten, daß eine solche Vereinigung die Form eines Rades hat. Man sieht, daß sich ein solches Gebilde auf der Oberfläche des Deckglases rollt.

Bei der Beobachtung dieser Gebilde im gewöhnlichen Lichte habe ich nur rundliche Klümpchen gesehen, welche keine Struktur zeigten.

Es ist bekannt, daß die Bakterien die Vereinigungen auf zwei ganz verschiedene Weisen bilden können:

1. Zoogleoabildung — ein Lebensprozeß, welcher dadurch entsteht, daß die sich teilenden Bakterien nicht auseinandergehen;

2. Agglutination — ein Absterbeprozeß, bei welchem die Bakterien sich zusammenballen.

Zu welchen dieser beiden Stadien gehören wohl die von mir gesehenen Bildungen? Das Zusammentreten selbst solcher Bakterien habe ich nicht beobachtet, es wurde aber von Rählmann gesehen. Bei der Bewegung der Häufchen sieht man, daß die Bakterien eine Neigung haben, sich loszureißen. Man bekommt sogar die Vorstellung, daß aus diesen Neigungen die Bewegung der ganzen Bildung entsteht. Bei den Bakterien, die ich in Nährbouillontröpfchen beobachtet habe, waren diese Erscheinungen selten. Dagegen bei den Bakterien, die im destillierten Wasser untersucht wurden, waren diese Bildungen sehr groß und sehr zahlreich. Aus diesen Gründen komme ich zu dem Schlusse, daß wir es hier mit einer Agglutination zu tun haben, um so mehr, da jetzt Strukturen auch bei der Untersuchung der Agglutinationshäutchen nach der üblichen Methode gefunden werden.

Die Resultate meiner Untersuchungen kann ich wie folgt zusammenfassen:

1. Das Ultramikroskop nach Siedentopf gibt eine unreelle Abbildung der Bakterien. Die Abbildungen ändern sich — wie Rählmann dies ganz richtig bemerkt hat — mit der Lage der Bakterien im Präparat. Diese unreellen Abbildungen, hervorgerufen durch den erhöhten Beugungseffekt, gestatten aber doch, neue und interessante Schlüsse über die Morphologie der Bazillen und Mikrospiren zu ziehen. Das Ultramikroskop nach Siedentopf ist daher für die morphologische Untersuchung der Bakterien wohl geeignet.

2. Die Körper der zu der Gattung Bazillus und Mikrospira, vielleicht auch zu anderen Gattungen gehörenden Bakterien bestehen aus zwei Teilen. Wenn auch die geschilderte Doppelförmigkeit als eine optische Erscheinung angesehen werden kann, so zeigt das oben besprochene Beugungsbüschel doch, daß der Körper der Bakterien

in der Mitte anders gebaut zu sein scheint, als an den Rändern. Die regelmäßigen, zylindrischen, rundlichen usw. Körper zeigen ultramikroskopisch nur die regelmäßigen Beugungsringe, aber nie solche Beugungsbüschel. Der Körper der Bakterien ist fähig, seine Form zu verändern. Es scheint, daß diese Gestaltsveränderung (Krümmung, Zusammenklappen usw.) von der Substanz abhängt, die sich in der Mitte des Körpers befindet. Diese Substanz scheint sehr elastisch zu sein. Die beschriebene Eigentümlichkeit des Körperbaues der Bazillen, Mikrospiren usw., nämlich daß dieselben aus zwei Hälften bestehen, nenne ich die Doppelförmigkeit oder die Diatomität der Bakterien. Andere Gestaltsveränderungen habe ich nicht gesehen.

3. Die Teilungen der Bazillen und Mikrospiren sind sehr schön zu sehen, aber es ist immer die Gefahr vorhanden, die Vereinigungsstadien mit den Teilungsstadien zu verwechseln. Von oben gesehen sind die Doppelvereinigungsstadien der Abbildung der Flachseite des Bazillus sehr ähnlich. Nur fehlt — wie Rählmann bemerkt hat — bei den ersteren Stadien das Mittelverbindungsstück.

4. Die Adhäsion der Bakterien am Deckglas habe ich — wie auch Rählmann — oft gesehen. Besonders schön erscheint dieses Festkleben, wenn dabei die Geißeln sichtbar werden, wie dies bei den Bakterien aus Myxomyzetenkulturen der Fall war. Einen weiteren Zerfall dieser Bakterien habe ich nicht beobachtet.

5. Mit Hilfe des Ultramikroskopes nach Siedentopf kann man sehr gut die Agglutination der Bakterien beobachten.

In meinen ersten Publikationen habe ich die Organismen, die ich bei der Hellfeldbeleuchtung nicht gesehen habe, als „ultramikroskopisch“ bezeichnet. Diese Bezeichnung hat leider zu Mißverständnissen geführt. Schon aus dem Grunde, daß ich diesen Organismen eine bestimmte Form zuschrieb, konnte man ersehen, daß sie nicht in allen Dimensionen ultramikroskopisch sind, sondern nur deswegen bei Hellfeldbeleuchtung nicht sichtbar werden, weil sie entweder noch in einer Dimension ultramikroskopisch sind oder einen für die Sichtbarmachung sehr ungünstigen Brechungsexponenten haben.

Auf das Aufsuchen solcher Organismen, die in allen Dimensionen ultramikroskopisch sind, habe ich von vornherein verzichtet. Denn wenn Molisch[135b]) sagt, daß „der Geübte die Brownsche Molekularbewegung von der aktiven Bewegung der Bakterie oder eines anderen Lebewesens unterscheiden kann“, so bin ich ganz anderer Meinung. Schon Zsigmondy[2]) zeigte, daß die Bewegung der kleinsten Goldteilchen sich stark von der gewöhnlichen Brownschen Bewegung unterscheidet. Diese Bewegung kann mit der Bewegung einer Bakterie leicht verwechselt werden. Außerdem haben die kleinsten

Kokken usw. ohne aktive Bewegung wegen ihrer geringen Größe die Brownsche Bewegung. Auch später erörterte Beobachtungen von Cotton und Mouton[1]) über den Erreger von Peripneumonie der Rinder wiedersprechen dieser Meinung von Molisch vollkommen. Alles in diesem Absatz Gesagte ferner zeigt, wie schwer es ist, die wirklich ultramikroskopischen Lebewesen von den kolloidalen Submikronen zu unterscheiden.

Auch ist es sehr schwer, ganz genau festzustellen, daß gewisse Organismen nur bei Dunkelfeldbeleuchtung gesehen werden können, nicht aber bei Hellfeldbeleuchtung. Zwar geschieht der Übergang von der Dunkel- zur Hellfeldbeleuchtung sehr rasch mit dem Wechselkondensor. Beim Objektiv mit fester Blende und eng zugezogener Irisblende bekommt man aber ebenfalls eine Dunkelfeldbeleuchtung, die nur viel unvollkommener ist. Andererseits bekommt man bei weitaufgezogener Irisblende eine Hellfeldbeleuchtung, die für die Sichtbarmachung lebender Bakterien nicht besonders geeignet ist. Um die volle Leistungsfähigkeit der Hellfeldbeleuchtung wirklich auszunutzen, muß man ein Objektiv (homogene Immersion) Num. Ap. 1,40 oder 1,30 ohne Blende und eine geeignete Beleuchtung benutzen. Ein solches Wechseln nimmt aber bedeutend mehr Zeit in Anspruch, und es ist darum schwer, die vorher bei der Dunkelfeldbeleuchtung gesehenen, beweglichen Organismen wiederzufinden.

Ich habe mit der Bezeichnung „ultramikroskopisch“ nur sagen wollen, daß ich diese Organismen beim Gebrauch der Objektive mit fester Blende und mit dem speziellen Beleuchtungsobjektiv für Dunkelfeldbeleuchtung gesehen habe, beim Gebrauch desselben Objektives und des gewöhnlichen Kondensors mit weit geöffneter Irisblende dagegen nicht konstatieren konnte.

Meistens hatten diese bei genannter Hellfeldbeleuchtung unsichtbaren Wesen die schon oben beschriebene Form (Doppelförmigkeit der flachen Seite und typisches Beugungsbüschel). Sogar wenn diese Wesen sich nicht im Focus befanden, so zeigten doch die schönen Beugungsbüschel ihr Vorhandensein an. Sie sind auch stets beweglich. Daraus schließe ich, daß die Mehrzahl dieser Organismen zu den Bakterien gehört und eine ähnliche Form hat wie die mikroskopischen Bazillen und die Mikrospiren. Die andern Wesen sind faden- oder stabförmig, beweglich oder unbeweglich und ähneln vollständig den ebenso aussehenden, aber viel größeren, langen Bakterien (Fig. 13) aus der Myxomycetenkultur.

Außer diesen Bakterien waren noch einige ganz andere bewegliche Wesen vorhanden, die ich bei Hellfeldbeleuchtung nicht sehen konnte. Einen sehr interessanten Organismus sah ich in einem

Präparat, worin sich die Nitella-Zellen befanden. Im ruhigen Zustande hatten diese, aus mehreren kleinsten Teilchen bestehenden Wesen eine runde Form (Fig. 12*a*). Plötzlich verlängerten sich diese runden Teilchen und die ganze Scheibe zerlegte sich in eine Spirale (Fig. 12*b*), worauf diese wieder in eine Scheibe zurücksprang. Die ganze Erscheinung ähnelte dem Aufrollen und Zurückspringen einer Spiralfeder. Die Trennung und das Zurückspringen erfolgten außerordentlich schnell nacheinander. —

Aus seinen Untersuchungen mit dem Ultramikroskop nach Siedentopf zieht Molisch folgende Schlüsse:

„1. Es ist bis jetzt kein einziger Organismus mit Sicherheit nachgewiesen, der ultramikroskopischer Natur wäre. Wenn auch die Möglichkeit, daß es ultramikroskopische Lebewesen gibt, nicht bestritten werden soll, so wird die künftige Forschung zeigen, daß dieselben, falls sie überhaupt existieren sollten, keineswegs häufig, sondern relativ selten sind."

„2. Die im Ultramikroskope wegen der Kontrastwirkung zwischen Hell und Dunkel so deutlich und leicht wahrnehmbaren Mikroben sind, soweit meine Untersuchungen reichen, nicht von ultramikroskopischer Größe, denn sie können bei genauer Beobachtung auch mit dem gewöhnlichen Mikroskop stärkster Leistungsfähigkeit bei gewöhnlicher Beleuchtung gesehen werden und entpuppen sich in der Regel als Bakterien."

„3. In Übereinstimmung damit steht die Tatsache, daß alle bekannten Bakterien, welche auf festen Nährböden Kolonien bilden, stets mikroskopisch auflösbar sind. Würden ultramikroskopische Bakterien häufig vorkommen, wie dies Rählmann und besonders Gaidukov behaupten, so wäre zu erwarten, daß doch wenigstens Kolonien von solchen Lebewesen in festen Nährböden auftreten und dadurch auch für das freie Auge sichtbar werden. Das hat aber bisher noch kein Bakteriologe feststellen können, alle Bakterienkolonien erwiesen sich, wenn sie mit einem gewöhnlichen Mikroskop untersucht wurden, als aus mikroskopischen Bakterien zusammengesetzt, die im äußersten Falle noch als winzige Pünktchen erschienen."

Wenn Molisch unter „ultramikroskopischen Lebewesen" die Organismen versteht, welche wirklich in allen Dimensionen ultramikroskopisch sind, so wurde schon gesagt, daß wir keine genaue Methode haben, um diese Organismen von den gewöhnlichen kolloidalen Submikronen zu unterscheiden. Ich habe von vornherein auf das Aufsuchen solcher Organismen verzichtet.

Die Behauptung, daß Objekte von ultramikroskopischer Größe bei gewöhnlicher Beleuchtung nicht gesehen werden können, ist nicht ganz richtig. Es ist nicht ausgeschlossen, daß die größeren Ultra-

mikronen auch bei gewöhnlicher Beleuchtung unter günstigen Umständen sichtbar gemacht werden können. Molisch bemerkt, daß er Mikroben von ultramikroskopischer Dicke nie gesehen hat. Nun bezeichnen wir aber nach Siedentopf und Zsigmondy Objekte als ultramikroskopisch, wenn sie kleiner als etwa 200 $\mu\mu$ sind. Molisch selbst erwähnt einige Bakterien, die nur 0,1 und 0,15 μ dick sind.

Die vergleichenden Beobachtungen bei Hellfeldbeleuchtung hat Molisch nicht nur mit Objektiven mit fester Blende und dem gewöhnlichen Kondensor gemacht, sondern auch mit nicht abgeblendeter Ölimmersion $^1/_{12}$. Wie bereits oben erörtert wurde, ist es möglich, daß er im ersteren Falle dabei auch nur, wenn auch nicht so vollkommen, Dunkelfeldbeleuchtung hatte; auch im zweiten Falle, also ohne Blende im Objektiv kann man bei sehr schiefer Beleuchtung bereits an die Grenze der Dunkelfeldbeleuchtung kommen. Überhaupt scheint es, daß Molisch keinen strengen Unterschied zwischen Hellfeld- und Dunkelfeldbeleuchtung macht. Er sagt z. B.[134]), daß andere die Teilchen des Tabakrauches ultramikroskopisch beobachtet haben, daß er selbst aber zeigen konnte: „daß viele Rauchteilchen schon bei einer 50maligen Vergrößerung eines gewöhnlichen Mikroskops ohne Dunkelfeldbeleuchtung im durchfallenden Lichte gesehen werden können, also teilweise gar nicht jenseits der mikroskopischen Wahrnehmung liegen". Aus früheren Publikationen von Molisch[133]) geht aber hervor, daß er für diese Zwecke eine Dunkelfeldbeleuchtung durch Abblendung im Objektträger angewandt hat.

Gewiß kann man mit unvollkommenen Einrichtungen öfters dasselbe — wenn auch schwer — erreichen, was leicht mit vollkommenen Apparaten erreicht wird. Um so mehr wird man dieses können, je geübter man in den betreffenden Beobachtungen ist, aber wenn wir auch den geübtesten Mikroskopiker fragen, wird er behaupten, daß er die Geißeln der meisten lebenden Bakterien bei gewöhnlicher Beleuchtung sehen könne?

Die Bemerkung von Molisch über die Unsichtbarkeit von Kolonien ultramikroskopischer Bakterien beweist gar nichts. Es ist allgemein bekannt, daß viele Krankheitserreger (z. B. von Pocken) mikroskopisch nicht wahrnehmbar sind. Cotton und Mouton[1]) sagen sogar, daß ihre Zahl ununterbrochen wächst. Diese Mikroben wurden als „filtrierende Mikroben" bezeichnet, da sie durch das Chamberlandsche oder Berkefeldsche Filter durchgehen (vgl. Remlinger[160])). Cotton und Mouton sagen auch, daß die Kulturen der Erreger der Rinder-Peripneumonie nur leicht opaleszierend waren. In manchen gefärbten und farblosen (Eiweiß) kolloidalen Lösungen wurden Submikronen gefunden, über deren Vorhandensein früher niemand etwas wußte. Selbst Substrate, wie Gelatine, Agar, Bouillon usw. enthalten

als Kolloide Ultramikronen. Daher werden in den Substraten, welche solche winzige Mikroben enthalten, die Kolonien der letzteren auch makroskopisch unsichtbar bleiben, denn die Substrate können ja ebenso klar und durchsichtig werden, wie verschiedene Sole, Rubingläser usw.

Im allgemeinen kann man sagen, daß Molisch weder die Ansicht Erreras bestätigt hat, „daß eventuell existierende Ultramikronen nicht viel kleiner sein können als die kleinsten bisher bekannten Lebewesen", noch die Probienhypothese von Nägeli widerlegt.

E. Hoffmann[120]) hat im Verein für innere Medizin in Berlin (Sitzung vom 3. Dez. 1906) mitgeteilt, daß mittels Apochromat 2 mm mit fester Blende und des speziellen Objektivs für Dunkelfeldbeleuchtung nach Siedentopf „in frischen Präparaten die Syphilisspirochäten im lebenden Zustande außerordentlich gut sichtbar und sehr leicht erkennbar sind. Auch ihre Bewegungen und die Unterschiede gegenüber anderen Formen treten hierbei äußerst deutlich vor". Bei Anwendung der Trockensysteme D und 4 mm mit fester Blende bleibt die Spirochaete pallida, wie ich selbst beobachtet habe, unsichtbar.

Otto und Neumann[139]) haben bei ihren Untersuchungen des gelben Fiebers — mit Hilfe des Ultramikroskops nach Siedentopf — Gebilde gesehen, welche bei gewöhnlicher Beleuchtung unsichtbar waren. —

Im allgemeinen kann man sagen, daß das Ultramikroskop nach Siedentopf für die Morphologie der Bakterien von großer Wichtigkeit ist. Für praktische, diagnostische und systematische Zwecke ist dagegen dieser Apparat unbequem, wegen des starken Hervortretens der störenden Beugungsringe. Für die letztgenannten Zwecke sind die Apparate nach dem Prinzip der Abblendung im Kondensor viel bequemer, da hier die störenden Erscheinungen fehlen. Dies bestätigen die in der nächsten Abteilung dieses Kapitels mitgeteilten Tatsachen.

2. Untersuchungen mit den Apparaten nach dem Prinzip der totalen Reflexion.

Cotton und Mouton[1]) [S. 226] haben mittels ihres Apparates die Erreger der Rinder-Peripneumonie untersucht und gefunden, daß diese Mikroben als sehr zahlreiche, kleine, leuchtende Teilchen erscheinen. Ihre Bewegung unterscheidet sich von der Brownschen gar nicht.

Im Januar 1907, als die Sichtbarmachung der lebenden Spirochaete pallida mittels des Ultramikroskopes nach Siedentopf und des Reichertschen Spiegelkondensors schon bekannt war, habe ich für diese Zwecke den Paroboloidkondensor nach Siedentopf vor-

geschlagen. Herr G. Otto und ich sind durch unsere Versuche in Wien zu dem Schlusse gekommen, daß mit dem Paraboloidkondensor und Achromat D die lebende Spirochaete pallida sehr gut sichtbar gemacht werden kann.

Nach meiner Rückkehr aus Wien hat Dr. Siedentopf im Februar 1907 die von Dr. Spiethoff angefertigten frischen Präparate von Syphilisspirochäten mit folgenden Einrichtungen untersucht:

1. dem Ultramikroskop nach Siedentopf (Apochromat 2 mm);
2. dem Paraboloidkondensor, Achromat D und Apochromat 4 mm, elektrischer Bogenlampe und Gasglühlichtlampe.
3. der Abblendung im Immersionskondensor, denselben Objektiven und Lichtquellen.

Bei allen diesen Einrichtungen wurden die lebenden Syphilisspirochäten sichtbar. Die schönste und stärkste Abbildung gab aber der Paraboloidkondensor mit Bogenlampe. Die starke Helligkeit beim Paraboloidkondensor ermöglicht die Benutzung der stärksten Okulare. Auch Spiethoff[165]) empfiehlt für die Sichtbarmachung lebender Spirochäten den Paraboloidkondensor.

Landsteiner und Mucha, die ihre ersten Untersuchungen der lebenden Spirochäten mit dem Reichertschen Spiegelkondensor gemacht haben[123]), sagen[124]), daß der Zeiss'sche Paraboloidkondensor dasselbe leistet und empfehlen auch die Zeiss'sche Abblendung im Immersionskondensor. Alle genannten Einrichtungen empfiehlt für dieselben Zwecke auch Beer[96]). Arning und Klein[95]) halten die Abblendung im Immersionskondensor und die Auersche Flamme für die Sichtbarmachung der Spirochaete ausreichend.

Die Bewegung der Spirochaete pallida unterscheidet sich von den Bewegungen anderer Spirochäten nach Beer[96]) dadurch, daß während die anderen Spirochäten „in schneller Rotation aufwärts gleiten, oder sich aalartig schnell durch das Gesichtsfeld schlängeln, so daß es kaum möglich ist, ein einzelnes Exemplar längere Zeit zu beobachten, sich die Pallida nur langsam von der Stelle bewegt. Selbst die ihr in bezug auf die Bewegungen am meisten ähnelnde Spirochaeta dentium kommt etwas schneller vom Platz. Wesentlich anders verhielten sich die im Blut gefundenen Pallida, welche sich durch lebhaft schnellende seitliche Ausschläge beider Enden und ruckweises Krümmen des sonst weniger flexiblen Körpers bemerkbar machten." Auch aus einigen anderen Stellen entnommene Spirochäten bewegten sich auf die beschriebene Weise.

Ueber das Verhalten der lebenden Spirochaete pallida berichten Landsteiner und Mucha folgendes: „die Eigenbewegung der Spirochaete pallida blieb, wenn das Material zwischen Objektträger

und Deckglas, gegen Austrocknen geschützt, bei Zimmertemperatur aufbewahrt wurde, durch etwa 2 Tage erhalten. Bei 37° C wird die Bewegung zunächst intensiver, schwindet jedoch noch früher als bei Zimmertemperatur. Die Temperatur des Eiskastens scheint dem Erhaltenbleiben der Beweglichkeit günstig zu sein, doch wurden auch unter diesen Umständen nach mehr als 2 Tagen keine beweglichen Exemplare mehr angetroffen. Erhitzen durch $^1/_4$ Stunde auf 45° C beeinträchtigt die Bewegungsfähigkeit der Spirochäten."

„Normales menschliches Serum und Serum von syphilitischen Menschen hemmte die Bewegung der Spirochäten, rief aber in den bisher untersuchten Fällen keine Agglutination der Migroorganismen hervor."

„Auch beim Einbringen in Liquor cerebrospinalis, Wasser, Kochsalzlösungen verschiedener Konzentration, Bouillon, Peptonwasser wurde die Beweglichkeit der Spirochäten vermindert."

„Serum eines durch intraperitoneale Einspritzung spirochätenreicher Materialien vorbehandelten Kaninchens beschränkte die Beweglichkeit stärker als normales Kaninchenserum. Die Spirochäten zeigten unter der Einwirkung dieses Serums abnorme Bewegungsformen (Kontraktionen) und zum Teil sehr irreguläre Ruhestellungen."

„Im unverdünnten Safte von Papeln und Sklerosen war häufig ein Agglutinationsphänomen zu sehen. Einige Zeit nach der Entnahme ließ sich in diesen Sekreten die Bildung von Häufchen und Sternfiguren beobachten. Die Erscheinung wird allmählich deutlicher und kann nach einigen Stunden sehr auffällig sein. Da am Serum solcher Kranker keine agglutinierende Wirkung beobachtet wurde, so ist der Vorgang vermutlich auf eine lokale Antikörperbildung (Agglutininbildung) zu beziehen."

Zur Demonstration sind frische Präparate von Spirochaete pallida für die Nichtmediziner aus manchen Gründen unbequem. Darum ersetzt man diese Spirochäte durch Spirochaete dentium in Zahnfleischpräparaten. Das letztere Präparat ist eins der besten Testobjekte für die Dunkelfeldbeleuchtung.

In solchen Präparaten konnte ich schon im Sommer 1907 mittels Paraboloidkondensors die Geißeln einiger lebenden Bakterien sehen. Wenn die Bakterien sich bewegten, so waren die Geißeln sehr undeutlich zu sehen, da sie sich in beständiger Flimmerung befanden. Waren aber die Bakterien unbeweglich oder wurden sie durch das Deckglas adsorbiert, so erschienen die Geißeln viel deutlicher. Die Geißeln erschienen als sehr dünne, homogen leuchtende Fäden. Manchmal konnte man sehen, daß eine Bakterie zwei oder mehr Geißeln hatte. In diesen Präparaten können die Geißeln nicht nur bei Benutzung

der Bogenlampe, sondern auch bei Benutzung des Gasglühlichtes sichtbar gemacht werden.

Ende des Jahres 1907 und im Jahre 1908 habe ich die Geißeln lebender Bakterien mehrfach mittels Paraboloidkondensors demonstriert. So habe ich z. B. im hygienischen Institut in Jena die Geißeln lebender Heubazillen, von Pyocyaneus, Proteus und Spirillum volutans demonstriert. Bei der Demonstration im zootomischen Institut in Warschau wurden bei Benutzung des Grätzinlichtes die Geißeln einiger lebenden Fäulnisbakterien sehr schön sichtbar.

Die in der Zeissschen Werkstätte mittels Paraboloidkondensors gemachte Aufnahme des Spirillum undula mit Geißeln (frisches Präparat in physiologischer Kochsalzlösung) ist in Fig. 1, Tafel II, wiedergegeben. Die Geißeln werden gut sichtbar, wenn sich die Mikroben in Nährlösung oder in physiologischer Kochsalzlösung befinden.

Es kommt aber oft vor, daß unter denselben optischen Bedingungen die Geißeln der Bakterien — sogar bei ganz frischen Kulturen — unsichtbar bleiben. Daraus kann man schließen, daß die Ursachen der Sichtbarmachung nicht nur von der Optik, sondern auch von dem Zustande der Bakterien abhängt.

Für diese Zwecke empfiehlt Reichert[158]), die Bakterien in Nährgelatine, die mit der gleichen Menge Bouillon versetzt ist, oder im Kondenswasser von schrägen Agarnährböden zu ziehen. Beim Anlegen von Agarkulturen hat man dann nur dafür zu sorgen, daß auch etwas Bakterienmaterial in die am Boden des Agarröhrchens sich ansammelnde Flüssigkeitsschicht, das sogenannte Kondenswasser, übertragen wird. Agar- wie Gelatinekulturen sind wochen-, ja monatelang verwendbar; bei den ersteren hat man nur darauf zu achten, daß sich genügend Kondenswasser ausscheidet. Dies kann man stets erreichen, wenn man die Röhrchen sogleich nach dem Erstarren des Agars aufrecht stellt.

Mittels seines Spiegelkondensors hat Reichert[158]) die Geißeln bei folgenden lebenden Bakterien beobachtet: Spirillum volutans, Spirillum concentricum, Pseudomonasarten, Bac. cyanogenus, Proteus vulgaris, Typhusbazillen, Bact. coli, Paratyphus, Bac. subtilis, Vibrionenarten, Rekurrensspirochäten, Spirochaete gallinarum usw.

„Die einzelnen Geißelfäden der Bakterien," bemerkt Reichert, „sind so zart, daß sie im natürlichen Zustande auch unter Anwendung der Dunkelfeldbeleuchtung nicht wahrgenommen werden können. Bei der Bewegung legen die Bakterien aber stets eine Anzahl von Einzelgeißeln zu dickeren Strängen zusammen. Auch diese letzteren sind meist noch zu dünn, um ohne weiteres gesehen werden zu können. An den Strängen findet aber unter Umständen eine Abscheidung oder

Adsorption der in der Aufschwemmungsflüssigkeit der Bakterien gelösten Substanzen statt; dadurch können die Geißeln zutage treten."

Diese Erklärung von Reichert vermag ich nicht ohne weiteres anzuerkennen. Wir wissen sogar noch nicht, ob die Abbildung gefärbter Geißeln genau der Gestalt der Geißeln lebender Bakterien entspricht.

Reichert hat auch gebeizte Geißeln untersucht. Für die Typhusbazillen und Proteus empfiehlt Reichert die Zettnowsche Beize, welche durch vermehrten Tanninzusatz klar gemacht wurde. Für Spirillum volutans, Bac. coli und Paratyphus versagt die Zettnowsche Beize. Für diese Bakterien soll man außer dieser Beize noch einen Tropfen 5 %iger Dinatriumphosphatlösung nehmen.

Reichert sagt, daß bei der Dunkelfeldbeleuchtung die gebeizten Geißeln so erscheinen, „wie man sie nur in den schönsten Farbenpräparaten zu erhalten gewohnt ist". Aus den Untersuchungen von Rählmann wissen wir, was für große Veränderungen in der Struktur der Eiweiß- und Farbstofflösungen das Beizen verursacht. Ebenso stark wird auch die Beize auf so zarte Bildungen, wie die Bakteriengeißeln wirken, und wir können keinesfalls sagen, daß die Abbildungen der gebeizten oder gefärbten Geißeln absolut ähnlich den Geißeln lebender Bakterien sind.

„Über die Umstände, die das Sichtbarwerden der Geißeln bei Dunkelfeldbeleuchtung bedingen", hat Reichert[159]) Versuche mit Spirillum volutans unternommen. Aus diesen Versuchen schließt Reichert folgendes: „Es stellte sich heraus, daß bei der Sichtbarmachung der Geißeln weder die optischen noch die osmotischen Verhältnisse der Aufschwemmungsmedien eine Rolle spielen, von Bedeutung sind dabei vielmehr die chemischen Eigenschaften der im Aufschwemmungsmedium gelösten Substanzen. Die beste Darstellungswirkung besitzen gewisse Elektrolyte, und zwar die Säuren und die Salze. Die Nichtelektrolyte üben nur geringe Wirkung aus, gar keine dagegen starke Basen."

„Bezüglich der Stärke der Einwirkung dieser Substanzen ergeben sich ähnliche Gesetzmäßigkeiten, so wie sie bei der Ausfällung von Suspensionen und Hydrosolen durch Elektrolyte gefunden wurden. Es geht daraus hervor, daß es sich bei der Geißeldarstellung um ähnliche Vorgänge handeln muß. Die Ausfällung geht immer einher mit einer Adsorption, und diese letztere hat zweifelsohne den Hauptanteil an der Sichtbarmachung der Geißeln."

„Eine wesentliche Rolle bei der Sichtbarmachung der Geißeln spielt bei allen Bakterien, die eine Mehrzahl von Geißeln am einzelnen Individuum ausbilden, das Zusammenhaften der Einzelgeißeln zu dickeren Strängen, den sogenannten Zöpfen. Dies tritt jederzeit bei der Be-

wegung ein. Werden die Bakterien plötzlich abgetötet, so gelangen die Zöpfe nur in elektrolytefreien Medien zur Entfaltung. Die Elektrolyte verhindern dagegen die Entfaltung der Geißeln. Bei den Bazillen und Sarzinen ist die Zopfbildung unbedingte Voraussetzung zur Sichtbarmachung der Geißeln. Deshalb werden die letzteren nur in Medien von zähflüssiger Konsistenz sichtbar, in denen eine starke Zopfbildung eintritt."

Reichert[159]) hat auch die Bewegung der Bakterien ausführlich untersucht.

Die Sichtbarmachung der Geißeln lebender Bakterien bei der Dunkelfeldbeleuchtung widerlegt vollkommen die Meinung, daß die Geißeln Kunstprodukte sind.

Die Dunkelfeldbeleuchtung wurde auch für kinematographische Aufnahmen angewandt (Reicher, Comandon u. a.). Comandon[99]) hat z. B. die Bewegung der Spirochäten in Hühnerblut kinematographisch aufgenommen und demonstriert. Diese Aufnahmen wurden mit dem Zeissschen Paraboloidkondensor gemacht.

Die in diesem Kapitel angeführten Tatsachen zeigen, daß in manchen Fällen die Dunkelfeldbeleuchtungsmethode die Färbungsmethode ersetzen kann. Der Vorteil der ersteren besteht darin, daß es möglich ist, lebende Objekte zu beobachten. Es wäre wünschenswert, daß die Methodik bei Dunkelfeldbeleuchtung so weit ausgearbeitet würde, daß letztere — wie dies bei der Färbungsmethode der Fall ist — auch für diagnostische Zwecke angewandt werden könnte.

Für einige dieser Zwecke kann auch die Dunkelfeldbeleuchtung schon jetzt als einzigste Methode angewandt werden, nämlich um pathologische Veränderungen und den Tod der Bakterien zu konstatieren, da eben die Bakterien selbst, sowie ihre Bewegung bei Dunkelfeldbeleuchtung viel besser sichtbar sind als bei gewöhnlicher Beleuchtung.

Es ist nicht selten der Fall, daß Objekte, die man früher mit Hellfeldbeleuchtung nur im gefärbten Zustande beobachten konnte, später auch im frischen Zustande gesehen wurden. Ein solcher Fall ist auch bei der Dunkelfeldbeleuchtung vorgekommen. Die lebende Spirochaete pallida, die zuerst nur bei Dunkelfeldbeleuchtung zu sehen war, wurde auch bei Hellfeldbeleuchtung beobachtet (vgl. Beer[96])). Diese Tatsachen sprechen aber gegen die Dunkelfeldbeleuchtung ebensowenig, wie gegen die Färbung, da die beiden Methoden gestatten, solche Objekte sehr leicht zu sehen, welche bei einfachster Methode (frische Präparate und Hellfeldbeleuchtung) außerordentlich schwer zu sehen sind.

VI. Eigene Untersuchungen botanischer Objekte.

1. Vorbemerkungen.

Bei meinen Untersuchungen habe ich das Ultramikroskop nach Siedentopf, den Paraboloidkondensor nach Siedentopf und das Ultramikroskop nach Siedentopf und Zsigmondy benutzt. Als Lichtquelle diente eine Bogenlampe von ca. 20 Ampère Stromstärke. Alle Instrumente mit Zubehör stammten aus der Zeissschen Werkstätte. Als Testobjekte habe ich die Testplatte von H. J. Grayson (Taf. I Fig. 1 u. 2) und die Schalen von Pleurosigma angulatum (Taf. II, Fig. 7) angewandt.

Die Resultate meiner Untersuchungen sind auf den beigegebenen Mikrophotogrammen (Taf. I, II u. III) und Zeichnungen (Taf. IV u. V) dargestellt. Im allgemeinen ist die photographische Methode bei der Dunkelfeldbeleuchtung dieselbe, wie bei der Hellfeldbeleuchtung. Die Autochromaufnahmen (Lumièresches Verfahren) haben sich für die Dunkelfeldbeleuchtung als sehr geeignet erwiesen. Diese Aufnahmen dienten zum Teil als Originale der auf Taf. IV u. V abgebildeten Zeichnungen. Beim Photographieren lebender Zellen, in denen sich bewegliche Teilchen befinden, erscheinen auf der Platte die letzteren ihrer Bewegung wegen nur undeutlich.

Die von mir untersuchten, frischen Präparate befanden sich entweder in destilliertem Wasser, in schwacher Zuckerlösung oder in physiologischer Kochsalzlösung. In allen Fällen wurde Wasser genommen, das nach den Vorschriften von Zsigmondy[90]) destilliert worden war. Die benutzten Objektträger und Deckgläser wurden sorgfältig nach den Vorschriften, welche sich in den betreffenden Zeissschen Prospekten befinden, ausgewählt und gereinigt.

Als ich anfangen wollte, die Pflanzenzellen mittels Ultramikroskopes zu untersuchen (Januar 1906), waren schon die Untersuchungen der Blutkörperchen und anderer tierischer Zellen von Rählmann bekannt. Bei meinen Untersuchungen entstand zuerst die Frage, ob es überhaupt möglich wäre, diese Zellen zu untersuchen, da sie mit fester Zellwand bedeckt sind. Schon meine ersten Versuche zeigten, daß diese Schwierigkeit ganz unbedeutend ist. Die großen Submikronen des Zellinhaltes überlichteten vollkommen die kleinen Ultramikronen der Zellwand. Auffallend leuchtende Zellwand habe ich nur bei den Hyphen von Mucor beobachtet. Auch der Zellinhalt der Bakterien war wegen der stark leuchtenden Zellmembran nicht zu sehen. Im letzteren Falle kann man gewiß dieses Leuchten schon aus der geringen Größe der Bakterien erklären. Nur in größeren Involutionsformen der Bakterien und bei den Purpurbakterien war

der Zellinhalt besser zu sehen. Überhaupt sind die sehr dünnen Zellen (unter 5 μ) für diese Zwecke ungeeignet, weil die stark leuchtenden Randpartien den Zellinhalt überlichten.

Besonders durchsichtig sind die Zellmembranen der CO_2 assimilierenden Zellen. Außer optischen Gründen kann vielleicht bei verschiedener Durchsichtigkeit der Zellen auch eine physiologische Ursache eine Rolle spielen. Durch die optisch leere Membran kann das Licht viel leichter zu den assimilierenden Organen gelangen als durch die Membranen, welche eine komplizierte Struktur haben.

2. Blumenstaubhaare der Tradescantia (hauptsächlich Tradescantia virginica) mittels Ultramikroskopes nach Siedentopf (Achromat D und Apochromat 4 mm mit fester Blende) untersucht.

Die Zellmembran zeigt eine stark ausgeprägte optische Inhomogenität, welche aber für die Untersuchung des Zellinhaltes nicht schädlich ist. Das Protoplasma (Taf. II, Fig. 5) ist mit Teilchen gefüllt. Die Vakuolen im Zellsaft erscheinen optisch leer. Man kann folgende Zellen unterscheiden:

1. Junge, zellsaftarme Zellen; die Teilchen mit schöner Brownscher Bewegung. Bei Hellfeldbeleuchtung ist manchmal in diesen Zellen keine Bewegung zu sehen.

2. Ältere, große, zellsaftreiche Zellen mit Protoplasmaströmungen. Ungeachtet der letzteren kann man auch die schöne Brownsche Bewegung gut beobachten.

3. Absterbende Zellen mit mehr oder weniger geschrumpftem Protoplasma und ausgelaufenem Zellsafte. Bei den Teilchen bleibt noch eine ziemlich starke Brownsche Bewegung.

4. Tote Zellen. Der Hydrosolkomplex wandelt sich in einen Hydrogelkomplex um, das Protoplasma schrumpft zusammen und die Teilchen sind unbeweglich. Dieser Absterbeprozeß dauert manchmal (in schwacher Zuckerlösung) ca. 24 Stunden.

Auf den ersten Blick kann man vielleicht sagen, daß bei den jungen Zellen der Zellinhalt eine „bunte, kaleidoskopisch durcheinander bewegte Masse“ (Rählmann, l. c.) darstellt. Bei genauer Beobachtung und Fokussieren auf einzelne Teilchen sieht man aber, daß dieses Bild dadurch entsteht, daß im Zellinhalt zahllose, leuchtende Beugungsscheibchen sich bewegen und auch einige Mikrosomen, die mikroskopische Größe haben. Der Zellkern ist nur in manchen Fällen — nämlich wenn er nicht von der Protoplasmaschicht bedeckt ist — sichtbar. Er ist amöbenartig, verändert ständig seine Form und enthält ebenfalls bewegliche Teilchen, die aber größer sind als die vom Protoplasma und sehr nahe aneinander liegen. Leider

konnte ich die Kernteilung bis jetzt nicht beobachten. Es scheint, daß dieses feine Objekt durch die starke Beleuchtung sehr leidet. Ich konnte nur die Stadien beobachten, in denen der Zellkern sehr unruhig war. Dabei traten einige Zellkernteilchen (Chromidien?) aus dem Zellkern ins Protoplasma und bewegten sich dort weiter.

Die Bewegung der Teilchen ist ähnlich wie bei den Hydrosolen (Oszillation, Wackeln, Zusammenstoßen, Auseinandergehen, Schwingungen bei der Vorwärtsbewegung usw.), nur bei den jüngeren Zellen ist die Bewegung schwerer zu beobachten, weil die Abstände zwischen den einzelnen Teilchen zu klein sind. Dagegen ist diese Bewegung bei den älteren Zellen, ungeachtet der allgemeinen Strömung des Protoplasmas, sehr gut zu sehen.

Auch im Protoplasma der toten Zellen war kein „unentwirrbares Netzwerk" (Michaelis l. c.) zu sehen, sondern bei genauem Fokussieren sah man, daß dieses Netzwerk aus einzelnen unbeweglichen Beugungsscheibchen zusammengesetzt war.

3. Myxomyceten, mittels Ultramikroskopes nach Siedentopf untersucht.

Die Myxomyceten habe ich mit Achromat D und Achromat 2 mm mit fester Blende untersucht. Bei den Myxamöben sieht man in erster Linie keinen scharfen Unterschied zwischen Ekto- und Endoplasma. Der ganze Zellinhalt ist mit beweglichen Teilchen gefüllt. Am Rande sieht man eine leuchtende Linie. Bei der Keimung einer Spore habe ich folgendes gesehen (Taf. V, Fig. 5,): die Teilchen des Endoplasmas strömten aus der Spore in einen Schlauch. Der letztere zeigte eine netzförmige Abbildung. Die Teilchen vom Endoplasma waren gelb, das Netz dagegen violett gefärbt. Diese Beobachtung habe ich mit Achromat D gemacht. Die Bewegung der Myxamöben war sehr gut zu sehen. Bei der Bildung der Pseudopodien entsteht zwischen dem Endoplasma und der Plasmahaut ein optisch leerer Raum.

Der Zellkern ist nur hin und wieder manchmal gut zu sehen. Die Bewegung der Teilchen war manchmal sehr gut in den noch nicht geöffneten Sporen zu sehen. Mithin war in diesem Falle die Haut der Sporen ganz durchsichtig.

Einige Myxamöben waren so dünn, daß sie beim Wechseln des Kondensors unsichtbar blieben. In den Myxamöben befinden sich manchmal Teilchen, die wie Bakterien aussehen.

Um die Teilchen der verbreitetsten Verbrauchsstoffe (Öle, Fette, Kristalle verschiedener Kalksalze usw.) zu entfernen, habe ich die Plasmodien von Myxomyceten, sowie auch zerdrückte und unzerdrückte Blumenstaubhaare der Tradescantia, Vaucheria-Fäden usw.

längere Zeit mit thymolisiertem Wasser, Alkohol, Äther, Chloroform, verdünnter Salzsäure und heißem Wasser behandelt. Die Zahl der Ultramikronen des Protoplasmas ist nach all diesen Behandlungen nicht vermindert, woraus ich schließe, daß die Mehrzahl der von mir in den Zellen gesehenen Ultramikronen zu den Ultramikronen des Protoplasmas gehört.

4. Spirogyra und Mesocarpus.

Schon bei der Anwendung der gewöhnlichen Beleuchtung sieht man in den Spirogyrazellen größere Teilchen mit Brownscher Bewegung, welche sich im unteren Teile der Zelle befinden. Diese Teilchen sind Teilchen eines Kolloides, welches sich — wie bekannt ist — im Zellsaft von Spirogyra befindet. Außerdem kann man manchmal bei Hellfeldbeleuchtung in Spirogyra die Plasmabewegung sehen. Bei der Anwendung des Ultramikroskopes nach Siedentopf (mit trockenen Systemen) kann man sogar die dicksten Spirogyraarten untersuchen, z. B. Spirogyra crassa (Taf. II, Fig. 4). Sehr gut ernährte Zellen sind für die Untersuchung ungeeignet. Die sehr dicken Chromatophoren und die großen Pyrenoiden mit stark auftretenden Beugungsringen überstrahlen die feinen Abbildungen des Protoplasmas. Deswegen ist es in manchen Fällen vorteilhaft, die Kulturen von Spirogyra vor der Untersuchung einige Tage im dunklen Raume zu halten. Die sehr dünnen Spirogyren hingegen sind deshalb ungeeignet, weil die leuchtenden Kanten auf der Grenze der Zellen den Zellinhalt und die großen Teilchen der im Zellinhalt befindlichen Kolloide die Protoplasmateilchen überstrahlen.

Wenn aber nicht zu satte und nicht zu dünne Spirogyrazellen (Taf. II, Fig. 2b u. 3b und Taf. V, Fig. 1) genommen werden, so sieht man, daß sich die Teilchen des Protoplasmas bewegen (Brownsche Bewegung) und sich sogar vereinigen und größere Klümpchen bilden. Die Chromatophoren geben auch körnige Abbildungen. Die Beugungsscheibchen der Chromatophoren sind blaugrün, grün, rot und gelbrot gefärbt. Der Zellkern ist nur selten zu sehen. Wenn er aber nicht durch eine starke Schicht von Protoplasma bedeckt ist, so hat er dasselbe amöbenartige Aussehen, wie der Zellkern von Tradescantia. Der ausgedrückte, frei liegende Zellkern von Spirogyra enthält sehr viele unbewegliche Teilchen. Nucleulus war nicht zu bemerken.

Beim Absterben der Spirogyrazellen hört die Bewegung auf. Das Protoplasma und die Chromatophoren schrumpfen zusammen und die ganze Masse besteht aus unbeweglichen Teilchen.

Es war sehr wichtig, die Frage zu lösen: „Bleibt die Bewegung der Teilchen bei solchen Dauerpräparaten, bei denen keine wesentliche Änderung des Zellinhaltes stattgefunden hat, bestehen oder

nicht? Ich habe ein ausgezeichnetes, von Pfeiffer von Weilheim angefertigtes Dauerpräparat von Spirogyra benutzt (Venezianisches Terpentin, chromessigsaures Echtgrün und Magdalarot). Die „Protoplasmafäden", Chromatophoren, Zellkerne usw. waren tadellos erhalten. Die Bewegung fehlte aber vollkommen. Wenn man die Fäden von Spirogyra in absolutem Alkohol hält und dann mit Glyzerin untersucht, so ist die Bewegung nicht zu sehen. Wenn aber diese Fäden in Wasser untersucht werden, so ist zuweilen an manchen Stellen der Zellen eine sehr starke Bewegung zu beobachten. Wenn man die Zellen ganz kurze Zeit mit absolutem Alkohol behandelt, so nehmen die ganzen Zellen eine blaugrüne Färbung an, welche wesentlich von dem austretenden Chlorophyll abhängt. Die mit Formalin und Äther behandelten Spirogyrazellen zeigten — was die Bewegung anbetrifft — ähnliche Erscheinungen.

In den lebenden Zellen von Mesocarpus habe ich dieselben Erscheinungen wie bei Spirogyra gesehen. Die Struktur der Chromatophoren war deswegen noch besser zu sehen, da diese Zellen eine dazu geeignetere Form haben. Bei der Plasmolyse der Spirogyra- und Mesocarpuszellen sieht man die starke, nach dem Zentrum gerichtete Bewegung der Teilchen.

Dieselben Abbildungen von Spirogyra mittels Paraboloidkondensors zu erhalten, ist viel schwerer. Dazu muß man in den meisten Fällen eine etwas schiefe Stellung des Spiegels benutzen. Die schon erwähnten, großen Teilchen im Zellinhalt sind bei dieser Beleuchtung sehr stark ausgeprägt und überstrahlen den übrigen Zellinhalt. Der Unterschied der Abbildungen mittels Paraboloidkondensors und Ultramikroskops nach Siedentopf ist sehr gut auf den beigegebenen Mikrophotogrammen zu sehen (Taf. II, Fig. 3a). Wegen ihrer starken Bewegung während der Aufnahme erscheinen die Teilchen auf den Mikrophotogrammen unklar.

Ich habe auch Spirogyra mittels des Ultramikroskopes nach Siedentopf und Zsigmondy untersucht. Für diesen Zweck wurden die Spirogyrafäden in eine mit Wasser gefüllte Küvette gelegt, die an dem Objektive befestigt wurde. Die Objekte wurden senkrecht zu dem Beleuchtungskegel lang gezogen und mit der Wasserimmersion D* beobachtet. Die Abbildungen waren denen sehr ähnlich, die man mit der ultramikroskopischen Einrichtung durch Abblendung im Objektiv bekommt. Jedoch ist die Methode für solche Untersuchungen sehr unbequem.

5. Vaucheria, Cladophora, Oedogonium und Stigeoclonium.

Diese Algen sind für die Untersuchung mit dem Ultramikroskop nach Siedentopf nicht so geeignet, wie Spirogyra, da die Chromato-

phoren meistens das Protoplasma bedecken. Nur in seltenen Fällen konnte ich bei diesen Algen ähnliche Bewegungen bemerken wie bei Spirogyra. Die Abbildungen der Chromatophoren waren denen der Spirogyra ähnlich. Die Öltropfen bei Vaucheria erschienen optisch leer. Bei der Untersuchung der zerquetschten Vaucheriafäden (Taf. V, Fig. 2) sieht man manchmal folgendes: In der Zelle sind Klümpchen von Protoplasma (*p*), mit Chromatophoren gemischt, und größere, zusammengeflossene Öltröpfchen (*o*). Die letzteren sind bei Hellfeldbeleuchtung grün gefärbt, bei Dunkelfeldbeleuchtung dagegen zeigen sie eine typisch grüne und rote Färbung. Beim Austritt des Zellinhaltes aus den Fäden konnte ich mitunter drei Schichten unterscheiden: 1. die Schicht innerhalb der Zellwand, vollständig unbeweglich und sehr kompakt (*c*); 2. die erste Schicht außerhalb der Zellwand direkt unter dem Risse der letzteren: die Teilchen liegen nicht so nah zusammen und sind schwach beweglich (*d*); 3. die Schicht, die unter der zweiten Schicht liegt: die Teilchen bewegen sich viel schneller und gehen auseinander (*e*). Zahllose Teilchen mit starker Brownscher Bewegung lösten sich von dieser Schicht los und verbreiteten sich über das ganze Beobachtungsfeld.

Beim Austritt des Zellinhaltes aus den Fäden sieht man mitunter, daß einige austretende Protoplasmateilchen plötzlich in einzelne Teilchen zerfallen, welche mit sehr großer Schnelligkeit nach verschiedenen Richtungen auseinandergehen. Der ganze Vorgang sieht so aus, als ob im Klümpchen eine Explosion stattgefunden hätte. Die anderen Teilchen vereinigen sich dagegen und bilden nachträglich größere Klümpchen, die ständig wachsen. Auch wenn zwei Teilchen zusammentreffen, so sieht man, daß die Teilchen sich ganz verschieden verhalten. Einige Teilchen stoßen sich beim Zusammentreffen ab und gehen wieder auseinander. Andere Teilchen vereinigen sich dagegen beim Zusammentreffen. Übrigens sind bei der Anwendung des Apochromaten 2 mm mit fester Blende die Protoplasmateilchen und die Chromatophorenteilchen sehr leicht voneinander zu unterscheiden. Die ersteren sind weiß resp. blau gefärbt, die letzteren grün, blaugrün resp. rot und ziegelrot. Die Öltröpfchen werden alle beim Austreten durch das Chlorophyll grün, blaugrün resp. rot gefärbt. Bei abgestorbenen Cladophora- und Vaucheriazellen habe ich an manchen Stellen Teilchen mit Brownscher Bewegung gesehen. Wenn man Vaucheria mit absolutem Alkohol behandelt und dann in Wasser untersucht, so kann man an manchen Stellen der Zellen die lebhafte Brownsche Bewegung beobachten. Wenn man diese Zellen nur kurze Zeit mit Alkohol behandelt, so sind manche Zellen blaugrün gefärbt. Auch wenn man längere Zeit mit Alkohol behandelte Vaucheriafäden in Wasser legt, so bemerkt man, daß ein Teil des

Protoplasmas wieder beweglich wird; der andere Teil dagegen bleibt immer unbeweglich. Wenn man dieselben Fäden in Glyzerin legt, so ist keine Bewegung mehr zu beobachten.

Stigeoclonium und das dünne Oedogonium sind für die Dunkelfeldbeleuchtung ungeeignet. Im Zellsaft befindet sich ein Kolloid mit großen, stark leuchtenden Teilchen, welche den übrigen Zellinhalt überstrahlen. Bei dickeren Ödogonien habe ich dieselben Erscheinungen beobachtet, wie bei Spirogyra.

6. Desmidiaceen und Diatomeen.

Closterium acerosum ist eins der schönsten Objekte für die Dunkelfeldbeleuchtung, sowohl für das Ultramikroskop nach Siedentopf (Taf. IV, Fig. 1) als auch für den Paraboloidkondensor. Mit beiden Apparaten kann man fast gleichwertige, schöne Abbildungen erhalten. Bei diesem Closterium sind die Protoplasmaströmungen schon bei der Hellfeldbeleuchtung sehr gut zu sehen. Bei der Dunkelfeldbeleuchtung sieht man dann, daß diese Protoplasmaschicht mit unzähligen Teilchen mit Brownscher Bewegung gefüllt ist. Die sogenannten Gipskristalle an den Enden der Zelle erscheinen bei der Dunkelfeldbeleuchtung als eine Gruppe größerer Teilchen mit Brownscher Bewegung. Beim Absterben des Closterium hört zuerst die ganze Bewegung plötzlich auf. Dieser Stillstand dauert einige Minuten; dann fängt das Protoplasma wieder an sich zu bewegen, verteilt sich in einzelne Klümpchen, die Chromatophoren zerfallen und der ganze Zellinhalt wird wiederum unbeweglich.

Cosmarium ist aus denselben Gründen für die Untersuchung ungeeignet wie dünne Ödogonien und Stigeoclonium.

Die Struktur der Schale der Diatomeen maskiert meistens den Zellinhalt. Eine Aufnahme der Schale von Pleurosigma angulatum in Realgar befindet sich in Fig. 7 auf Taf. II.

Nur einmal ist es mir bei einer großen Navicula gelungen zu beobachten (Ultramikroskop nach Siedentopf), daß in den Chromatophoren außer grünen und roten Teilchen auch mehrere gelbe und braungelbe Pünktchen sich befanden. Was die Bewegung der Diatomeen anbetrifft, so ist die Bewegungssubstanz optisch leer und nur dann wahrnehmbar, wenn in ihr einige fremde Teilchen sich befinden. So befand sich z. B. auf der Bewegungssubstanz einer Navicula ein Teilchen; bewegte sich Navicula nach Nordwesten, so bewegte sich das Teilchen nach Südosten, zuerst auf dem Körper der Navicula, dann eine Weile im Wasser, bis auf eine Entfernung von ungefähr $1\frac{1}{2}$ Längen des Körpers der Navicula, wo es still stand. Als Navicula sich wieder auf $1\frac{1}{2}$ Längen seines Körpers dem

Teilchen näherte, fing das letztere wieder an, sich nach Nordwesten zu bewegen.

7. Oscillarien und Porphyridium.

Die Oscillarien können sehr gut mit dem Ultramikroskop nach Siedentopf und mit dem Paraboloidkondensor untersucht werden. Die Querwände der dünnen Oscillariazellen sind fast ganz unsichtbar. Bei dickeren Oscillarien (O. limosa und O. sancta) sieht man dagegen auf der Peripherie der Zellen eine wellenförmige oder eine unterbrochene Schichtung. Diese Unterbrechungen oder Krümmungen entsprechen den Querwänden. Die Zellmembran von O. tenuis ist ziemlich undurchsichtig. Bei den blaugrünen Oscillarien (Taf. IV, Fig. 4) sieht man weiße, blaue, blaßblaugrüne, rote und ziegelrote Pünktchen. Bei den violetten fehlen die blaßblaugrünen Pünktchen, dagegen sind sehr viele violette Pünktchen vorhanden (Tafel IV, Fig. 2).

Die Teilchen des Zellinhaltes sind in den unbeweglichen Fäden meistens auch unbeweglich. Bewegt sich Oscillaria, so bewegen sich auch manchmal die Teilchen und dabei kann man oft eine wellenartige Bewegung des ganzen Zellinhaltes beobachten. Die Bewegungssubstanz der Oscillarien ist meistens unsichtbar. Nur einmal konnte ich diese Substanz bemerken: ein dünner Faden von O. tenuis bewegte sich auf einem dicken Faden von O. limosa. Dabei sah man, daß das Ende der Substanz — mit welchem der erstere Faden an den letzteren geklebt war — viel weiter lag als das Ende des hin und her bewegten Fadens und am Ende gekrümmt war.

Ebenso wie bei den Diatomeen ist die Bewegung bei den Oscillarien dann besonders gut zu sehen, wenn sich auf der Bewegungssubstanz ein fremdes Teilchen befindet. Macht der Faden eine Vorwärtsbewegung, so macht dieses Teilchen in derselben Zeit eine vollständig entsprechende Rückwärtsbewegung und umgekehrt. Erreicht aber das Teilchen das Ende des Fadens, so wird es ins Wasser abgestoßen. Bei mehr komplizierter Bewegung des Fadens macht das Teilchen auf der Peripherie des Fadens eine Vor- und Rückwärtsspiralbewegung mit verschiedenen unregelmäßigen Pausen.

In den Chromatophoren von Porphyridium cruentum (Ultramikroskop nach Siedentopf, Apochr. 2 mm) sieht man (Taf. IV, Fig. 3) sehr viele rote Pünktchen, ferner gelborange und wenige grüne und blaugrüne. Im Protoplasma sind weiße und blaue Teilchen. Manchmal sind auch bewegliche Teilchen zu sehen; aber es ist schwer zu entscheiden, ob sie wirklich im Protoplasma sind, weil die Zellen

von Porphyridium cruentum mit einer sehr starken Gallertschicht bedeckt sind.

8. Flagellaten.

Die Abbildungen der Struktur der Chromatophoren grüner Flagellaten (Euglena Chlamydomonas) im Ultramikroskop nach Siedentopf und im Paraboloidkondensor entsprechen denen der grünen Algen.

Die Bewegung der Teilchen innerhalb der Zellen ist dann gut zu sehen, wenn die Organismen sich bewegen. Vor Beginn der Bewegung habe ich manchmal bei Chlamydomonas, Bodo usw. beobachtet, daß eine lebhafte Bewegung der Teilchen in der Gegend, die unter der Geißel liegt, stattfindet. Dann kann man manchmal merken, daß ein Klümpchen aus dem Innern in die Peripherie der Zellen geht und sich auf der letzteren bewegt. Bei stärkerer Bewegung der Flagellaten wackeln auch die größeren Körperchen innerhalb der Zelle. Dabei bleibt mitunter die Geißel ganz still. Andererseits habe ich aber folgende interessante Bewegung von Organismen, die ich nicht näher bestimmt habe, gesehen; die Organismen befanden sich in einer Kultur von Spirogyra, hatten eine ovale Form und zwei Polargeißeln. Bei der Bewegung berührten die Organismen beständig mit der vorderen Geißel das Deckglas, während die hintere Geißel auf dem Deckglas hinglitt. Die ganze Erscheinung sah so aus, als ob die Organismen mit Hilfe der Geißeln „liefen".

Beim Zerdrücken der Kolonien von Volvox Globator sieht man ähnliche Erscheinungen wie beim Zerdrücken der Vaucheriazellen. Einige austretende Teilchen vereinigen sich beim Zusammentreffen, die anderen stoßen sich dagegen ab. Das Spermatozoid von Volvox Globator wird meistens ohne Blase abgebildet. Mittels Ultramikroskopes nach Siedentopf habe ich nun gesehen (Taf. IV, Fig. 5), daß dieses Spermatozoid nicht nur eine große Blase (*l*) hat, sondern, daß auf der Blase auch noch ein großes Klümpchen (*t*) sich befindet, welches hin und her wackelt. Beim Austritt der Spermatozoiden sieht man, daß dabei auch die Protoplasmamassen austreten. Im Chromatophor vom Spermatozoid waren gelbe, ziegelrote und grüne Pünktchen zu sehen.

9. Hefe.

In Präparaten von frischer Bierhefe*) wurde mit Paraboloidkondensor und Grätzinlicht beobachtet, daß sich im Zellinhalt der

*) Diese Präparate wurden von V. Hoffmann hergestellt.

Hefezellen viele bewegliche Teilchen befinden. Nach Absterben der Zellen hört die Bewegung auf.

10. Nitella, Vallisneria und Moose.

Im allgemeinen sind dicke Objekte für die Untersuchung mit Dunkelfeldbeleuchtung ungeeignet. So kann man z. B. mit dem Ultramikroskop nach Siedentopf bei Nitella nur die jungen, dünneren Zellen beobachten. Man sieht dabei im Protoplasma sehr viele Teilchen, die eine Brownsche Bewegung haben. Auch kann man nur ganz dünne Schnitte von Vallisneriablättern beobachten. In den Zellen von Vallisneria, in denen keine Protoplasmaströmung zu sehen ist, sieht man mittels Ultramikroskopes nach Siedentopf einige Teilchen mit Brownscher Bewegung. Diese Bewegung wird immer stärker und dann beginnt das ganze Protoplasma zu strömen.

Die Abbildungen der Struktur der Chlorophyllkörner der Vallisneria, verschiedener Moose usw. entsprechen wieder vollkommen denen der Chromatophoren grüner Algen.

11. Stärkekörner und Zellmembranen.

Die geeignetsten Stärkekörner für die Untersuchung mittels Ultramikroskopes nach Siedentopf (Apochr. 2 mm) sind die von Weizen, da dieselben weder zu klein, noch zu groß sind und konzentrische Schichtungen haben. Bei der Beobachtung getrockneter Weizenstärke in Wasser kann man zuerst bemerken, daß die ganze Substanz der Körner aus einzelnen Beugungsscheibchen besteht (Taf. I, Fig. 3 u. 4). Nur selten sieht man, daß die letzteren konzentrische Ringe bilden. Meistens sieht man aber, — sogar bei ganz unveränderten Körnern — daß die ganze Substanz der Körner Beugungsscheibchen enthält. Über ihre Anordnung kann man nichts Bestimmtes sagen, da sie zu nahe aneinander liegen. Die konzentrische Schicht sieht man am besten dann, wenn nicht der Rand, sondern das Zentrum der Körner scharf eingestellt ist. Auch von einer radialen Anordnung kann keine Rede sein. Wenn man Körner mit radialen Rissen beobachtet, so sieht man bei der Dunkelfeldbeleuchtung ganz deutlich, daß diese Risse nur auf der Peripherie des Kornes vorhanden sind und mit der Anordnung der Beugungsscheibchen nichts zu tun haben (Taf. I, Fig. 3b). Wenn man auf den mittleren Teil der Stärkekörner einstellt, so sieht man dieselben Scheibchen wie bei den unveränderten Körnern, und die Risse sind nur als nicht im Fokus liegende helle Streifen zu sehen.

Der Vorteil der Untersuchung mittels Dunkelfeldbeleuchtung ist bei diesen Objekten sehr leicht zu erweisen. Denn hier kann man

leicht auf verschiedene Schichten des Kornes einstellen und darum z. B. die Risse der inneren Substanz unterscheiden. Dagegen scheint es, daß bei der Hellfeldbeleuchtung die Risse und die Ringe der Scheibchen in einer Ebene liegen, so daß besonders auf mikrophotographischem Wege ähnliche Abbildungen (Taf. I, Fig. 3a u. 4a) entstehen, wie die von Bütschli gesehenen.

Beim Quellen der Weizenstärkekörner (kochendes Wasser) bekommt man bei der Hellfeldbeleuchtung eine sehr komplizierte Struktur (Fig. 5a, b, c, Taf. I), die auch der Bütschlischen Abbildung sehr ähnlich ist. Dagegen sieht man bei der Dunkelfeldbeleuchtung, daß bei stark gequollenen Körnern die scharfen Konturen verschwinden und die Teilchen immer besser sichtbar, aber weniger stark leuchtend werden (Fig. 5d). Mehrere Teilchen lösen sich von den Körnern und gehen ins Wasser über, wo sie anfangen, sich zu bewegen (Brownsche Bewegung). Die Abbildungen des Quellungsprozesses mittels Ultramikroskopes nach Siedentopf (Apochromate 2 mm und 4 mm) und mittels Paraboloidkondensors (4 mm) sind gleich gut.

In dem flüssigen, durchsichtigen, nicht abgekühlten Kleister sieht man mehrere bewegliche Teilchen und bekommt überhaupt eine hydrosolartige Abbildung. Außer diesen beweglichen Teilchen sieht man auch einige Trümmer von Stärkekörnern. Die letzteren geben dieselben Abbildungen wie stark gequollene Stärkekörner.

Im erstarrten, durchsichtigen Kleister sind die Teilchen sehr schwach leuchtend und unbeweglich. Manchmal sind sogar nahezu ganz optisch leere Stellen zu sehen.

Es wurde schon gesagt, daß die Zellmembranen — besonders die der assimilierenden Zellen — beinahe optisch leer sind. Dagegen sind die verholzten Membranen sehr stark leuchtend. Mitunter sieht man sogar in diesen Membranen (Tannenholz) nur homogen leuchtende Linien und keine weiteren Inhomogenitäten. Die Struktur der Zellmembranen wird im Kapitel VIII näher besprochen.

12. Chlorophyll, Karotin und Anthocyan.

Ich habe einen grünen Alkoholauszug aus den Blättern einer tropischen Urticaceae untersucht und gefunden, daß ultramikroskopisch nur ein roter, fluoreszierender Kegel zu sehen war, aber keine Submikronen. Dieser Auszug wurde nach der Methode von Monteverde in Chlorophyll und Karotin zerlegt. In der Alkoholschicht habe ich denselben Kegel gesehen. In der Karotinschicht dagegen einen schwachleuchtenden, ziegelroten Kegel. Denselben Kegel habe ich in Karotin, welches sich in einem Auszug aus Mohrrübe befand, gesehen.

Es wurde weiter ein Chlorophyllauszug (96% Alkohol) von Cladophora untersucht und darin derselbe rote Kegel gesehen (Taf. V, Fig. 4a). Wenn man aber den Auszug so schwach mit Wasser verdünnt, daß keine Trübung zu sehen ist, so bemerkt man die Entstehung der Scheibchen, die teils grün und teils rot gefärbt sind (Taf. V, Fig. 4b). Gießt man noch mehr Wasser zu, so bemerkt man die Entstehung kleiner, farbloser Teilchen (Taf. V, Fig. 4c) und die Zahl der grünroten Teilchen verkleinert sich. Diese Erscheinungen habe ich mittels des Ultramikroskops nach Siedentopf und Zsigmondy und mittels des Paraboloidkondensors beobachtet.

Ich habe im warmen Wasser einen Auszug aus roter Rübe gemacht, den ich ultramikroskopisch untersuchte. Das in diesem Auszug vorhandene Anthocyan war vollkommen optisch leer und zeigte nicht einmal einen leuchtenden Kegel. Die im Auszug befindlichen, großen Teilchen gehörten sicherlich zu ganz anderen Stoffen.

VII. Über die Kolloide der Pflanzenzellen.

Die Frage nach der Struktur des Protoplasmas gehört zu denjenigen, über welche von den hervorragendsten Fachleuten ganz verschiedene und sogar ganz widersprechende Meinungen ausgesprochen wurden und noch werden. Über die Struktur des Protoplasmas wird schon mehrere Dezennien diskutiert. Neuerdings hat André Mayer[127] auf Grund seiner ultramikroskopischen Untersuchungen angenommen, daß das lebende Protoplasma ein optisch leeres Gel ist. Die Meinungsverschiedenheiten entstehen hauptsächlich dadurch, daß die optischen Mittel, mit denen man diese Frage zu lösen versucht, unzureichend sind.

Sogar über den Begriff „Protoplasma“ herrscht noch Unklarheit. Ich schicke voraus, daß ich keinesfalls unter dem Protoplasma, welches ich bei meinen Untersuchungen beobachtet habe, die „eigentliche, lebendige Materie“ verstehe, sondern nur den Teil der Zellen, welcher mit jenem Namen gewöhnlich bezeichnet wird. Hier betrachte ich das Protoplasma auch nur vom kolloidchemischen und ultramikroskopischen Standpunkte aus.

Wenn ich wirklich das Protoplasma bei der Dunkelfeldbeleuchtung gut gesehen habe, so erschien es meistens als ein Hydrosol. Überall waren in ihm Teilchen mit Brownscher Bewegung zu sehen. Zwischen dem Körner- (Endo-) und Hyalo- (Ekto-) Plasma war kein Unterschied zu sehen. Nur solche Plasmateile, welche größere Teilchen (Mikrosomen) in größerer Menge enthalten, können nicht mehr als

Hydrosol, sondern müssen schon als Suspension bezeichnet werden. Ich sah, daß die Teilchen im Plasma sich vereinigten, auseinandergingen und ihre Zahl sich verkleinerte oder vergrößerte. Aus allen diesen Erscheinungen schließe ich, daß das von mir beobachtete Protoplasma einiger lebenden Zellen einen Hydrosolenkomplex darstellt.

Andererseits habe ich lebendes Protoplasma in manchen Zellen beobachtet, in denen keine Bewegung zu sehen war. Die Abbildung des Protoplasmas bestand nur aus einer sehr großen Menge von Beugungsscheibchen, welche sehr nahe aneinander lagen. Die ganze Abbildung ähnelte der Abbildung eines Hydrogels, da ich in den richtigen Hydrogelen absolut keine Bewegung der Teilchen beobachtet habe, so z. B. im erstarrten Kleister, dünnen, auf dem Deckglas getrockneten Schichten von Gelatine, Kollodium usw.

Aber man kann nicht definitiv schließen, daß in diesem Fall wirklich ein Gel vorhanden war. Die Unsichtbarkeit der Bewegung der Teilchen könnte man auch dadurch erklären, daß die Abstände zwischen ihnen zu klein waren, um so mehr, da ich diese Unbeweglichkeit meistens nur bei sehr gut ernährten Zellen beobachtet habe. Die Beobachtung bestätigt vielmehr nur erstens die alte Ansicht, daß das Protoplasma zähflüssig ist, und zweitens die jetzt sehr verbreitete Meinung, daß das Protoplasma sehr polymorph ist. Eine Umwandlung von Solen in Gele oder umgekehrt konnte ich bei den lebenden und ganz normalen Zellen nicht mit Sicherheit konstatieren, dagegen habe ich — wie dies später erörtert wird — die Umwandlung eines Sol in ein Gel bei den absterbenden Zellen ganz klar gesehen.

Im Kolloidenkomplex des Protoplasmas befindet sich ein reversibler und ein irreversibler Teil. Dies beweist das verschiedene Verhalten der Teilchen während des Austrittes aus den Zellen. Einige Teilchen vereinigten sich (irreversibler Teil), die anderen gingen dagegen auseinander und bildeten im Wasser eine kolloidale Lösung (reversibler Teil). Auch im koagulierten, toten Plasma sah man, daß ein Teil sich wieder kolloidal löste (reversibler Teil), der andere dagegen nicht (irreversibler Teil). Der irreversible Teil des Protoplasmas enthält wahrscheinlich das „Plastin".

Es wurde schon früher gesagt, daß das Protoplasma nur dann ein Hydrosol sein kann, wenn es mit einer Schutzwand (Plasmahaut) bedeckt ist. Wie auch Pfeffer sagt, muß diese Haut außerordentlich dünn sein. Auf das Vorhandensein dieser Haut wies vielleicht die oben erwähnte optische Erscheinung hin, nämlich die Bildung eines Netzes auf der Peripherie der Zoospore eines Myxomycetes (Taf. V, Fig. 3).

Es wurde bewiesen, daß das Protoplasma irreversibles Kolloid enthält. Wenn wir annehmen, daß das Protoplasma mit Elektrolyten in Berührung kommt, so wird an der Stelle des Zusammentreffens der irreversible Teil koagulieren und ein Hydrogel bilden. So wird z. B. bei der Aufnahme und Ausgabe fester Körper die verwundete Stelle der Plasmahaut durch ein neu gebildetes Hydrogel bedeckt. Wenn ein Tropfen des Elektrolytes in die Zelle eintritt, so wird er durch den koagulierten, irreversiblen Teil des Plasmas bedeckt, und so wird eine Vakuole gebildet. Also können wir sagen, daß im Protoplasma selbst sich ein Stoff befindet, der es vor den schädlichen Wirkungen der Elektrolyte, vor den Verwundungen usw. schützt, und daß das Protoplasma (Cytoplasma) durch eine Hydrogelschicht geschützt ist.

Rählmann zeigte, wie empfindlich die Eiweißultramikronen gegen verschiedene äußere Einflüsse sind. Aus den mitgeteilten mikrochemischen Untersuchungen kann ich schließen, daß die Teilchen im Plasma meistens eine Eiweißnatur haben. Die beständigen Veränderungen der Teilchen (Vereinigung, Auseinandergehen, Vermehrung und Verschwinden) weisen auf die im Protoplasma stattfindenden Stoffwechselprozesse hin.

Das Protoplasma wird mit einer chemischen Fabrik verglichen. Es ist möglich, daß sich in dieser Fabrik verschiedene Abteilungen befinden, nämlich, daß das Protoplasma durch die erwähnte, irreversible Hydrogelschicht auf verschiedene Kammern verteilt wird. In diesem Falle wird das Protoplasma eine Wabenkonstruktion im Bütschlischen Sinne haben. Mit dem Ultramikroskop ist es aber nicht zu beweisen. Das Ultramikroskop zeigt nur die Struktur der Kolloide (ultramikroskopische Struktur), aber nicht die aus diesen Kolloiden entstehende Struktur (mikroskopische Struktur). Dagegen sieht man bei der Hellfeldbeleuchtung, besonders bei der Anwendung stärkster Systeme, einige Beugungsscheibchen und eine reelle mikroskopische Struktur nebeneinander, und man unterscheidet die ersteren Abbildungen nicht von der letzteren. Dies beweisen z. B. sehr gut die früher besprochenen Bütschlischen Mikrophotogramme.

Aus meinen Beobachtungen folgt weiter, daß beim Absterben des Protoplasmas das Hydrosol sich in Hydrogel umwandelt. Wenn das Absterben langsam vor sich geht, so findet eine Fällung statt. Wenn aber das Protoplasma durch Fixierungsmittel (Alkohol, Formalin usw.) getötet wird, so findet ein Erstarren statt. In beiden Fällen hört die Bewegung der Teilchen auf und eine Hydrogelbildung findet statt. Was die Abbildung der Struktur dieses Hydrogels anbetrifft, so sieht man nur, daß es aus sehr vielen einzelnen Beugungsscheibchen besteht.

Auch in den Zellen, in denen das Hydrosol im lebenden Zustande nicht konstatiert wurde, kann man beim langsamen Absterben die Koagulation des Kolloides beobachten, Es ist aber sehr schwer, bei solchen Zellen den Unterschied der Struktur beim Absterben zu beobachten, wenn dieselben mit Mitteln wie Alkohol, Äther usw. plötzlich abgetötet werden.

Eismond[104]) berichtete kürzlich, daß er bemerkt hat, daß in zerdrückten Protoplasmamassen der Infusorien eine Änderung der Struktur stattfindet. Wenn er auch die kolloidchemische Nomenklatur nicht streng anwendet, so kann man doch aus seinen Beschreibungen schließen, daß er es hier mit derselben Umbildung des Hydrosols in Hydrogel zu tun hatte. Diese Erscheinung hat er nicht nur mittels Hellfeldbeleuchtung, sondern auch mittels Paraboloidkondensors beobachtet.

Es wurden sehr viele Erklärungen für die Bewegung der Amöben und die Bewegung des Protoplasmas innerhalb der Zellmembranen gegeben. Wenn wir annehmen, daß das Protoplasma aus einem Hydrosolkomplex mit sehr vielen beweglichen Teilchen besteht und nur eine äußerst dünne Haut hat, so können wir sagen, daß die Bewegung genannter Teilchen auch auf die Bewegung des ganzen Systems Einfluß haben kann.

Im allgemeinen bestätigen meine Beobachtungen des Protoplasmas bei Dunkelfeldbeleuchtung die Ansichten von Pfeffer, die Untersuchungen von Alfred Fischer und die Untersuchungen über die Desorganisation des Protoplasmas von P. Klemm. Bei der Dunkelfeldbeleuchtung erscheinen aber alle diese Vorgänge viel schärfer, da die Unterschiede im kolloidalen Charakter des Protoplasmas viel schärfer und klarer zu sehen sind. Mit Ausnahme eines einzigen Falles (Protoplasma mit unbeweglichen Teilchen, durch Alkohol und andere Fixierungsmittel getötet) habe ich die Koagulation der Kolloide (Erstarren und Fällung) bei dem Absterben des Plasmas ganz klar gesehen.

In der letzten Zeit wird mehr und mehr die Ansicht verbreitet, daß die Entstehung der Schaumstruktur im Protoplasma ein pathologischer oder postmortaler Prozess ist. Aus den Untersuchungen bei Dunkelfeldbeleuchtung kann man einen weitergehenden Schluß ziehen: Beim Absterben des Plasmas findet eine Koagulation statt, und zwar beim langsamen Absterben eine Fällung und beim plötzlichen ein Erstarren. In beiden Fällen werden nur die Beugungsscheibchen der Teilchen sichtbar. Es ist aber aus den mehrmals erörterten, optischen Gründen sehr fraglich, ob in diesem Falle wirklich eine reelle Waben- oder Schaumstruktur entsteht.

Die ultramikroskopischen Abbildungen des Zellkernes zeigen, daß sich auch hier ein Komplex ziemlich wasserarmer Hydrosole mit großen Teilchen befinden kann. Das amöbenartige Aussehen der Zellkerne sieht man bei Dunkelfeldbeleuchtung sehr gut. Im lebenden Zellkern konnte ich nur einen einzigen Prozeß beobachten, welcher als Austritt der Chromidien gedeutet werden kann.

Es wäre außerordentlich wichtig, wenn ein Fachmann eine genaue ultramikroskopische Untersuchung des lebenden Zellkernes vornehmen würde.

Über die Farbe der Teilchen bei ultramikroskopischen Untersuchungen zu urteilen, ist ziemlich schwer. Aber schon aus den besprochenen Farbenerscheinungen, die bei den gefärbten Körpern der Pflanzenzellen beobachtet wurden, kann man schließen, daß die Chromatophoren und Chlorophyllkörper einen gelartigen Komplex der Stromasubstanz und verschiedener Farbstoffe darstellen. So enthalten z. B. die Chlorophyllkörper nicht nur farblose und grüne resp. rote Scheibchen, sondern auch blaugrüne und ziegelrote. Es ist möglich, daß diese Scheibchen den ebenfalls gefärbten Farbstoffen, die man aus dem Chlorophyllauszuge enthält, entsprechen, die grünen und blaugrünen resp. roten dem Chlorophyll, die ziegelroten dem Karotin, um so mehr, da die Färbung des letzteren ultramikroskopisch ziegelrot erscheint. Dagegen sind bei den roten Chromatophoren außer den erwähnten Teilchen noch rote resp. gelborange (Phycoerithrin) vorhanden, bei den blaugrünen aber blaue resp. rote (Phycocyan) usw.

Überhaupt kann man sagen, daß man ungeachtet der störenden Beugungsscheibchen in den Chromatophoren Scheibchen sehen kann, die ebenso gefärbt sind wie die Farbstoffe, welche man aus den entsprechenden toten Zellen durch Lösung in verschiedenen Lösungsmitteln bekommt.

In meinen ersten Arbeiten über die komplementäre, chromatische Adaptation*) habe ich gesagt, daß ich den Vorgang der komplementären, chromatischen Adaptation nicht erklären kann. Wenn wir aber annehmen, daß die Farbstoffe sich in den Chromatophoren in kolloidalem Zustande befinden, so können wir auch den Vorgang der komplementären, chromatischen Adaptation erklären. Aus den Arbeiten von Siedentopf geht hervor, daß die Temperatur auf die Färbung der kolloidalen Steinsalze sehr großen Einfluß hat. Es ist möglich, daß auch bei der Bestrahlung der Algen mit verschiedenen Strahlen und dem damit verbundenen Temperaturunterschied ähnliche Vorgänge stattfinden, wie in den kolloidalen Steinsalzen beim Erhitzen.

*) Gaidukov, Über den Einfluß farbigen Lichts auf die Färbung lebender Oscillarien. Anh. z. Abhdl. Preuß. Akad. Wiss. Berlin 1902; — Hedwigia, XLIII, 96—118 (1904) usw.

Für die Meinung, daß das Chlorophyll in den Chromatophoren mit Öl verbunden ist, konnte ich keine Bestätigung finden. Im Gegenteil sah ich z. B. bei Vaucheria, daß das aus den Chromatophoren austretende Chlorophyll sich zuerst in den ursprünglich farblosen, in den Vaucheriazellen befindlichen Öltropfen löste.

Der Zellsaft kann zuweilen ganz optisch leer sein (z. B. bei Tradescantia), kann aber in anderen Fällen (z. B. bei Spirogyra) auch ein Hydrosol und sogar eine Suspension darstellen.

Aus meinen Beobachtungen der Bewegungen der Oscillarien und Diatomeen kann man schließen, daß diese Bewegungssubstanz fähig ist, sich zu verlängern und zu verkürzen.

Aus meinen Untersuchungen der Stärkekörner kann ich in erster Linie den Schluß ziehen, daß die Anwendung des Ultramikroskopes für diese Zwecke sehr vorteilhaft ist. Man kann die eigentliche kolloidale Struktur nicht mit Rissen usw. verwechseln. In den Stärkekörnern sieht man eine so große Anzahl von Beugungsscheibchen, daß es unmöglich ist, über die Anordnung der Teilchen, welche diese Beugungsscheibchen hervorrufen, zu urteilen. Es ist auch eine interessante Tatsache, daß die Teilchen sich beim Quellen verkleinern. Die Abbildungen der Struktur der Stärkekörner widersprechen durchaus nicht der Micellartheorie von Nägeli und beweisen keinesfalls die Wabenstruktur Bütschlis oder die radialtrichinitische Struktur von A. Meyer. Auch die Abbildungen der Zellmembranen widersprechen weder der Nägelischen Theorie, noch beweisen sie die Bütschlische Theorie.

Überhaupt ist in allen meinen Beobachtungen keine Tatsache vorhanden, welche den allgemeinen Grundsätzen der Nägelischen Micellartheorie widerspricht. Im folgenden Kapitel wird sogar gezeigt werden, daß ich diese Theorie als Arbeitshypothese benutzt habe, um aus den ultramikroskopischen Abbildungen der Spinnfasern ihre chemischen und optischen (Glanz) Eigenschaften zu erklären.

Aus Rählmanns ultramikroskopischen Beobachtungen der Mischungen von Farbstoffen, Beizen und Eiweiß sieht man, daß in mehreren Fällen Adsorptionsprozesse vorhanden waren. Schon die merkwürdig gestalteten, mitunter sehr großen Gruppen der Ultramikronen verschiedener Stoffe — welche Rählmann gesehen hat — bestätigen dies. Wenn wir annehmen, daß bei der Färbung und Beizung zytologischer Objekte Adsorptionsprozesse stattfinden, so können wir schließen, daß die genannten Methoden für die Mikrochemie eine große Bedeutung haben. Um so vorsichtiger muß man aber sein, wenn man aus den Abbildungen gefärbter oder gebeizter Objekte Schlüsse über die Struktur lebender Objekte ziehen will. Die Gruppen der Ultramikronen, die Rählmann gesehen hat, kann

man auch bei gewöhnlicher Beleuchtung sehen. Im nächsten Kapitel wird gezeigt, was für Veränderungen die Färbung und Beizung in den Abbildungen der Spinnfasern verursacht. Wenn diese Behandlung auf die feste Substanz der Spinnfasern so stark wirkt, so wird sie auf solche feine Stoffe, wie das Protoplasma usw., um so stärker wirken.

In der letzten Zeit wurden viele Analogien zwischen der toten und der lebenden Natur gefunden. In der Kolloidchemie und in der Kristallographie sind mehrere biologische Ausdrücke eingeführt, wie Keimung*) Schutz*), Vergiftung**), Lähmung**), Erholung**), Regeneration, Kopulation***), Selbstteilung***), Kreuzung***) usw.

Man kann sagen, daß der Tod des Protoplasmas viel Ähnlichkeit hat mit der Umwandlung eines Hydrosols in ein Hydrogel („Tod des Hydrosols"). In beiden Fällen hört die Bewegung der Teilchen auf und eine Koagulation findet statt.

Es war schon längst gesagt, daß „die durch Platin bewerkstelligte Zerlegung des Wasserstoffsuperoxyds das Urbild aller Gärungen ist". Mit demselben Recht kann man sagen, daß die Funktion der Plasmahaut das Urbild der Funktion des Schutzkolloids ist. In beiden Fällen wird das Hydrosol vor dem schädlichen Einfluß der Elektrolyte geschützt.

VIII. Untersuchung der Spinnfasern.

Die mechanischen Prüfungen der Spinnfasern (z. B. die mit der Reißmaschine) zeigen nur die Eigenschaften der Fasern, aber nicht die Ursachen dieser Eigenschaften. Auch das gewöhnliche Mikroskop kann diese Ursachen nicht zeigen, weil man mit Hilfe dieses Apparates meistens nur die äußere Gestalt der Fasern, aber nicht die innere Struktur derselben beobachten kann. Deshalb ist es begreiflich, daß nach der Erfindung des Ultramikroskopes Versuche gemacht wurden, diesen Apparat auch für die Untersuchung der Fasern anzuwenden.

Im Juli 1906 habe ich die präparierte Ramiefaser mit Hilfe des Ultramikroskopes nach Siedentopf beobachtet und habe gefunden, daß die Substanz dieser Fasern aus in der Längsrichtung gelagerten Teilchen besteht.

---

*) Zsigmondy[2]) usw.

**) Bredig, Anorganische Fermente, 1901.

***) O. Lehmann, Fließende Kristalle und Organismen. Arch. f. Entwicklungsmechan. Bd. XXI, H. 3, 1906 usw.

J. Schneider und G. Kunzl [74]) haben für die Untersuchung gefärbter und ungefärbter Spinnfasern eine andere ultramikroskopische Einrichtung angewandt, das Ultramikroskop nach Siedentopf und Zsigmondy. Dieser Apparat ist sehr geeignet für die Untersuchung flüssiger oder fester, durchsichtiger, kolloidaler Körper (Gold- und Silberhydrosolen, Eiweißlösungen, gefärbter Gläser und Steinsalze usw.), aber nicht für die Untersuchung der Objekte zwischen Objektträger und Deckglas. Darum ist die Methode von Schneider-Kunzl zu kompliziert.

Ende Januar 1907 fragte mich Ing. Hellmann-Wien, ob man die Baumwollfasern mit Hilfe des Ultramikroskopes nach Siedentopf prüfen könne. Durch diese Frage angeregt, habe ich im Frühjahr 1907 begonnen, das Problem zu lösen, ob man mit Hilfe des Ultramikroskops nach Siedentopf (Apochromat 2 mm mit fester Blende) die Spinnfasern untersuchen und prüfen kann*).

Als Arbeitshypothese für meine Untersuchungen habe ich die Micellartheorie von K. v. Nägeli angenommen. Dieser Theorie widersprechen meiner Ansicht nach die Zerstäubungs- und Zerlegungsversuche von Wiesner**). nicht. Wiesner hat gefunden, daß nach den von ihm angewandten Zerlegungs- und Zerstäubungsmethoden die Pflanzenfasern zuerst in Fäserchen (Fibrillen) und dann in kleine Körnchen (Dermatosomen) zerfallen, die in einer homogenen, gelatinösen Masse eingebettet liegen. Es ist sehr wahrscheinlich, daß die Fibrillen und die Dermatosomen von Wiesner identisch sind mit den Micellarkomplexen und Micellarverbänden der wasserarmen Substanz (Bausteine) von Nägeli. Und die „homogene, gelatinöse Masse" ist die wasserreiche Substanz mit den kleinen Micellen (Mörtel).

Auf das Vorhandensein der beiden Micellarsubstanzen (der wasserarmen und wasserreichen) in den Fasern deuten die mikroskopisch wahrnehmbaren Schichtungen und Streifungen. Diese Erscheinungen entstehen nach Nägeli durch die Wechsellagerung wasserarmer und wasserreicher Schichten. Auch die viel größeren Körper als die Micellen — die Dermatosomen von Wiesner — „sind in der Regel nicht erkennbar" und werden nur gesehen, „wenn die zusammenhaltenden Fäden sich lösen oder sprengen".

Der schon zitierte Nägelische Vergleich des inneren Baues mit einem Mauerwerk ist für uns von großer Wichtigkeit. Eine Mauer ist nur dann gut gebaut, wenn sie aus gleichen, gut mit Mörtel verbundenen Bausteinen besteht. Jede Unregelmäßigkeit des Baues — ungleiche und schlechte Bausteine, schlechter Mörtel, zu wenig Bausteine und zu

*) Vgl. Gaidukov (113—116).

**) Sitz.-Ber. d. Akad. d. Wiss., Wien, Bd. XCII, H. 1, 1886, S. 17—20.

viel Mörtel oder umgekehrt, hohle Stellen in der Mauer, zu große Feuchtigkeit oder Trockenheit — wirken auf die Qualität der Mauer und verschlechtern sie. Dasselbe gilt auch für die Qualität der Spinnfasern. Nur wenn die innere Struktur der Substanz der Fasern regelmäßig und gleichmäßig gebaut ist, werden sie eine gute Qualität haben. Die innere Substanz der Fasern soll in diesem Falle aus regelmäßig angeordneten, möglichst gleichen Bausteinen (Micellen der wasserarmen Substanz oder Micellarkomplexen resp. Dermatosomen) bestehen, die mit „Mörtel", d. h. wasserreicher Substanz mit kleinen Micellen gut verbunden sind. Gewiß spielt bei der Qualität des Materials auch dessen chemische Natur eine große Rolle. Aber wie bekannt, sind sich in chemischer Beziehung sehr viele Fasern, z. B. alle Pflanzenfasern, sehr ähnlich*).

Wie schon gesagt, kann man mit Hilfe des gewöhnlichen Mikroskops die besprochene, innere Struktur der Fasern nicht sehen. Nur die feineren Schichtungen und Streifungen hängen von dieser Struktur ab. Die im Mikroskop sichtbaren, größeren Streifungen gehören nicht zu der inneren Struktur der Fasern, sondern entweder zu der Skulptur der Außenwand oder zu den Unregelmäßigkeiten der letzteren (Beschädigungen, Falten, Verschiebungen usw.). In einigen Pflanzenzellmembranen wurden auch Gänge (Plasmodesmen) beobachtet. Im Lumen der Pflanzenfasern befinden sich oft getrocknete Klumpen der Protoplasten.

Die Präparierungsmethode ist die einfachste und leichteste. Man legt die Fasern auf einen Objektträger in einen Tropfen reinen, destillierten Wassers und bedeckt sie mit einem Deckgläschen.

Keinesfalls soll man die Fasern vorher mit Chemikalien behandeln (Alkohol, Äther usw.), sonst werden die Fasern gleich eine veränderte Struktur haben.

Viel Störungen verursachen die Interferenzerscheinungen. Aus diesem Grunde soll man das Mikroskop sehr sorgfältig nur auf solche Gebiete der Substanz der Fasern einstellen, die in der Mitte liegen und von den störenden Interferenzerscheinungen frei sind. Diese Stellen können bei der Beurteilung der Struktur der Substanzen nur in Betracht kommen. Die Randpartien der Fasern, wo sehr viele Interferenzlinien vorhanden sind, können gar nicht in Betracht kommen, ebensowenig die Stellen mit der gröberen, mikroskopischen Struktur, z. B. Skulpturen, Falten, Risse usw. Darum soll man das Mikroskop auf die Mittelschichten der Fasersubstanz einstellen und nicht auf die Oberfläche oder auf das Lumen. Eigentlich sind die Störungen, die durch die gröbere, mikroskopische Struktur der Faser verursacht

*) Vgl. V. Höhnel, Mikroskopie d. technisch verwendeten Faserstoffe, 2. Aufl. S. 1.

werden, gering. Wenn man bei der Dunkelfeldbeleuchtung zu helle oder zu dunkle Stellen sieht, so genügt es, mit Hilfe des Wechselkondensors die gewöhnliche Beleuchtung einzustellen, und dann entpuppen sich die genannten Stellen als Falten, Risse usw. Sogar die Schuppen der Wolle stören gar nicht viel, sie werden von der sichtbar gemachten ultramikroskopischen Struktur maskiert.

Um festzustellen, was für optische Täuschungen bei diesen Untersuchungen der Fasern entstehen, habe ich Fasern mit streng molekularer Struktur untersucht, nämlich Glasgespinst. Wenn auch die Glasfasern wegen starker Lichtbrechung und starker Lichtreflexion schwer zu beobachten sind, so habe ich doch beim Einstellen einmal gefunden, daß die innere Struktur der Fasern optisch leer ist (Taf. III, Fig. 4); ein andermal aber waren schwache Interferenzlinien zu sehen. Aus diesem Grunde habe ich die sehr feinen und regelmäßigen Linien der Rohseide, der Rohjute und des Reinhanfs nur als Interferenzlinien betrachtet.

Im allgemeinen soll man sich bei solchen Untersuchungen immer vergegenwärtigen, daß wir nur die Beugungsabbildung einer hypothetischen Struktur haben und nur aus der Feinheit und Regelmäßigkeit dieser Struktur den einen oder den anderen Schluß über die Qualität der Fasern ziehen können.

Nehmen wir zuerst die Fasern eines der edelsten Textilstoffe, der Seide! In der Rohseide (ohne Bast) sieht man außerordentlich feine und regelmäßige, in Längsrichtungen angeordnete, leuchtende Linien, zwischen denen sich eine optisch leere Substanz befindet (Tafel III, Fig. 1).

Nur bei den feinen und feinsten Sorten der Baumwolle bleibt die Abbildung zuweilen der der Seide ähnlich (Taf. III, Fig. 5, 9, 10). Aber die hellen Linien bestehen aus viel gröberen Teilchen, sind unregelmäßiger und werden öfters verschoben und unterbrochen. Bei der gewöhnlichen amerikanischen Baumwolle sieht die Abbildung meistens ganz anders aus. Sie besteht aus verschobenen Reihen von Teilchen, die ein Netz bilden, oder aus Teilchen, die sich vereinzelt auf dunklem Grunde befinden.

Ebenso kann man die Unterschiede in den Abbildungen der bearbeiteten Baumwolle beobachten. In den Fasern der gebleichten Baumwolle (Taf. III, Fig. 7) merkt man z. B., daß die hellen Reihen sehr oft durch schwarze Räume unterbrochen werden. Dies zeigt, daß der eine Teil der Substanz verschwunden ist. Bei der gebeizten Baumwolle sehen wir mitunter keine geordneten Reihen mehr, sondern nur vereinzelte kleine Pünktchen, die sich auf dunklem Grunde befinden (Taf. III, Fig. 8).

Im allgemeinen sind aber die Baumwoll- und Wollfasern für diese Untersuchungen nicht besonders geeignet, da schon die Rohfasern dieser Stoffe sehr inhomogene Abbildungen geben.

Die ausgezeichneten Eigenschaften der Jute — große Reißlänge und Seidenglanz*) — konnte man aus den mikroskopischen Eigenschaften der Jute gar nicht erklären, weil diese Fasern mikroskopisch einen auffällig unregelmäßigen Querschnitt haben. Ultramikroskopisch aber erklären sich diese Eigenschaften sehr leicht. Die innere Struktur der Jute (Taf. III, Fig. 16, 17) ist der der Rohseide beinahe vollständig ähnlich. Ebenso läßt sich der Zusammenhang der optischen Eigenschaften der Jute mit den mechanischen (Reißlänge) aus der inneren Struktur erklären. Wiesner bemerkt, daß „je glänzender die Jutefaser ist, desto besser ist sie". Je regelmäßiger die innere Struktur ist, desto besser werden die mechanischen und optischen Eigenschaften der Jute sein. Die unregelmäßige Gestalt der Jutefasern zeigt in unserem Mikrophotogramme die helle Schicht in der Mitte.

Wird Jute mit Alaun bearbeitet und gefärbt, so verschwindet die feine Abbildung der Jute vollkommen. Anstatt der regelmäßigen Reihen entsteht ein unregelmäßiges Netz (Tafel III, Fig. 18).

Die Abbildungen des russischen Flachses (Flachs aus Estland) waren ziemlich lichtschwach (Taf. III, Fig. 11), aber lange nicht so fein wie die der Jute. An den Stellen der Fasern, an denen sich mikroskopische Bildungen befinden, die v. Höhnel „Verschiebungen" genannt hat, sind stark leuchtende, freiliegende Pünktchen zu sehen. Dies bestätigt die Beobachtungen von Schwendener**) und Wiesner***), die gezeigt haben, daß diese „Verschiebungen" nicht echte Verschiebungen sind, wie es v. Höhnel dachte, sondern mechanische Verletzungen. Die Struktur der Substanz der Fasern ist an diesen Stellen zerfallen, und deshalb sieht man hier vereinzelte Teilchen, die deshalb besser sichtbar sind, weil die Abstände zwischen ihnen größer sind. An den Stellen, wo sich diese Teilchen an die leuchtenden Reihen der unverletzten Substanz anlegen, entsteht die Abbildung eines Netzes. Übrigens kann ich die Beobachtungen von Schwendener und Wiesner dadurch bestätigen, daß ich ähnliche Verschiebungen bei der mikroskopischen Untersuchung der Glasgespinstfasern gesehen habe.

Bei dem italienischen Flachs (Taf. III, Fig. 12) waren die parallelen Reihen viel besser zu sehen. Diese Reihen sind ähnlich wie bei den vorhergenannten Stoffen, sie bestehen aus leuchtenden

*) Vgl. Wiesner, Die Rohstoffe des Pflanzenreiches, 2. Ausg. 1904, S. 184, 330 bis 342.

**) Ber. d. Deutsch. Botan. Ges., Bd. XII, 1894, S. 239.

***) l. c., S. 200.

Knoten und dunkleren Zwischenräumen. Im allgemeinen ähnelt die Abbildung dieser Fasern der der Seide, wenngleich die letztere viel feiner ist. Aus dieser Struktur ist der schöne und stark seidige Glanz zu erklären, den der italienische Flachs hat*).

Ganz anders ist die Abbildung der Fasern der mit Indigo gekü̈pten Leinengewebe (Taf. III, Fig. 13). Die ursprüngliche Struktur der Flachsfasern wird fast vollständig maskiert durch stark leuchtende Teilchen ohne bestimmte Anordnung. Diese Abbildung entsteht wahrscheinlich dadurch, daß die Teilchen des Indigos sich in der Substanz des Flachses verteilen.

Die Substanz des polnischen Reinhanfs (Taf. III, Fig. 14) besteht aus teils homogenen, teils inhomogenen, parallelen, leuchtenden Reihen. Die Abbildung der Fasern ist der der Jute ähnlich. Die Abbildungen der „Verschiebungen" ähneln denen der Flachsfasern.

In den Rohfasern von Ramie (Taf. III, Fig. 15) sind die homogenen Linien sehr stark ausgeprägt. Die Linien sind sehr breit, stark leuchtend und nicht in Knoten auflösbar. Mitunter erscheinen ganz große Stellen homogen leuchtend.

Es ist bekannt, daß die Rohfasern von Ramie sich sehr stark von den kotonisierten Fasern unterscheiden**), und daß nur die letzteren spinnbar sind. Dies kann man auf Grund der Unterschiede der ultramikroskopischen Abbildungen der Ramiefasern in den verschiedenen Stadien der Herstellung erklären.

Je weiter die Ramiefasern bearbeitet werden, desto feiner wird die Abbildung. Schon in den Fasern von „Zug extra I" (Taf. III, Fig. 19) und in den präparierten Fasern (Taf. III, Fig. 20) werden die leuchtenden Reihen viel feiner und in leuchtende Knoten aufgelöst. Im Garn (Taf. III, Fig. 23) findet eine fast vollkommene Auflösung statt, und im „Garn weiß" (Taf. III, Fig. 22) wird die Abbildung sehr fein, schwach leuchtend und der der Rohseide ähnlich. Wird das Ramiegarn gefärbt, so werden nicht nur die Reihen wieder homogen, sondern es entstehen ganz große, homogen leuchtende Stellen (Taf. III, Fig. 21). Dieselbe Veränderung zeigt auch die direkt gefärbte Rohseide (Taf. III, Fig. 2). Bei der Untersuchung der Ramiefasern habe ich in „Zug extra I" eine Faser mit zerfallener Struktur gefunden (Taf. III, Fig. 24).

Die Abbildungen der Kunstseide (Kollodiumseide) unterscheiden sich von den Abbildungen aller erwähnten Fasern dadurch (Taf. III, Fig. 3), daß die leuchtenden Reihen nicht in Längsrichtung, sondern meistens in Querrichtung angeordnet sind. Die ziemlich feine

*) Wiesner, l. c., S. 293.

**) Wiesner, l. c., S. 326.

Anordnung verursacht wahrscheinlich hier den Glanz, denn aus den mikroskopischen Eigenschaften wäre er — genau wie bei der Jute — nicht zu erklären; die Fasern haben ja einen sehr unregelmäßigen Querschnitt*).

Aus dem Gesagten kann man schließen, daß die Fasern, die die größte Festigkeit und die besten mechanischen und optischen Eigenschaften besitzen, auch ultramikroskopisch die regelmäßigsten Abbildungen geben. Diese Abbildungen bestehen meistens aus parallelen, leuchtenden Reihen, die sich auf dunklem Grunde befinden und in hellere Knoten und dunklere Zwischenräume geteilt sind.

Bei einigen Fasern (Ramierohfasern) sind die leuchtenden Reihen homogen, nicht in Knoten aufgelöst und zeigen homogene Stellen.

Die Fasern mit geringer Reißlänge und ohne Glanz zeigen keine so regelmäßigen Abbildungen.

Beim Bleichen geht ein Teil der Substanz verloren. Dies bestätigt das ultramikroskopische Bild der gebleichten Baumwolle. Auch die Teilchen von Ramie „Garn weiß" sind außerordentlich lichtschwach.

Die direkte Färbung macht im allgemeinen die Fasern stark leuchtend und homogen (Ramie, Seide). Dies zeigt, daß die Farbteilchen sich in die Bindesubstanz der Fasern einlagern. Die einzelnen Teilchen der Anilinfarben sind wahrscheinlich nicht zu sehen, weil sie nur molekulare Struktur haben. Aber es scheint, daß die gefärbten Teilchen der Fasernsubstanz, besonders der Bindesubstanz, dadurch stärker leuchtend erscheinen. Es ist aber nicht ausgeschlossen, daß die Teilchen bei dem Küpungsverfahren zu sehen sind, wie es das genannte Leinengewebe zeigt. Auffallend ist der Unterschied des Baues der ungefärbten und der gefärbten und mit Alaun behandelten Fasern der Jute.

Zusammenfassend können wir die Erscheinungen der ultramikroskopischen Bilder wie folgt einteilen:

I. Auf Vorteile der Struktur weisen hin:
   regelmäßige, inhomogene Reihen (helle Knoten und dunklere Unterbrechungen); sie deuten auf Festigkeit und Glanz.

II. Auf Nachteile (Fehlen der Festigkeit) weisen hin
   1. Netzbildungen, durch unregelmäßige Struktur verursacht;
   2. Unterbrechungen, dunkle Stellen zwischen leuchtenden Stellen;
   3. ganz aufgelöste, leuchtende Punkte;

*) Vgl. v. Höhnel, l. c., S. 227—231.

4. homogene, leuchtende Linien (Fehlen der Torsionsfestigkeit).

Bei den gefärbten Fasern können solche Erscheinungen nicht nur dadurch entstehen, daß die Fasern schlecht sind, sondern auch dadurch, daß ihre ursprüngliche Substanz maskiert ist.

IX. Zusammenfassung.

Daß die Ultramikroskopie für die Physik und Chemie sehr wichtig ist, wurde schon erwähnt. Dies beweisen z. B. schon die oben zitierten Worte des berühmten Chemikers Ostwald. Aber auch für die Medizin und Biologie haben die Ultramikroskopie und Dunkelfeldbeleuchtung eine große Bedeutung. Man kann aus den obigen Arbeiten, bei welchen die Dunkelfeldbeleuchtung zur Untersuchung mikroskopischer und halbultramikroskopischer Objekte angewandt wurde, die folgenden Schlüsse ziehen.

Die Dunkelfeldbeleuchtung kann für die Untersuchung solcher mikroskopischen Objekte mit Vorteil angewandt werden, die bei gewöhnlicher Beleuchtung außerordentlich schwer zu sehen sind (kleine Mikroben, Geißeln der Bakterien). Die Wirkung der Dunkelfeldbeleuchtung ist also die gleiche wie die der Färbung der Bakterien. Ihr Vorteil der Färbung gegenüber besteht vor allem darin, daß man die Objekte in frischem, lebendem Zustande untersuchen kann. Weiter kann die Dunkelfeldbeleuchtung für die praktische Diagnostik verwertet werden, für die Beobachtung pathologischer Erscheinungen und des Todes der Mikroben.

Auch die Anwendung der rein ultramikroskopischen Methoden hat in unseren Disziplinen eine große Bedeutung, und zwar bei der Untersuchung gewisser Kolloide. Diese Untersuchungen sind besonders wichtig für die Erklärung verschiedener Stoffwechselprozesse, der therapeutischen Wirkungen verschiedener Arzneimittel und der Vorgänge bei der Färbung zytologischer und histologischer Objekte.

Die Dunkelfeldbeleuchtung gibt auch die Möglichkeit, die ultramikroskopische Struktur der Kolloide nicht nur in einer Lösung, sondern auch in lebenden und toten Zellen zu untersuchen. Speziell aus meinen Versuchen ziehe ich folgende Schlüsse:

1. Das Protoplasma (Cytoplasma) vieler lebenden Zellen stellt einen Hydrosolenkomplex dar.

2. Der Kolloidkomplex des Protoplasmas besteht aus einem reversiblen und einem irreversiblen Teil.

3. Der Hydrosolenkomplex des Protoplasmas (Cytoplasmas) ist durch eine Hydrogelschicht (Plasmahaut) geschützt; die Funktion der Plasmahaut kann mit der Funktion des Schutzkolloides verglichen werden.

4. Beim Absterben des Protoplasmas findet eine Koagulation (Fällung oder Erstarrung) statt, der Hydrosolenkomplex verwandelt sich in einen Hydrogelenkomplex, der gleichfalls aus einem irreversiblen und einem reversiblen Teile besteht. Der Tod des Protoplasmas kann mit der Koagulation der Kolloide verglichen werden („Tod des Hydrosols").

5. Die ultramikroskopischen Abbildungen des Zellkernes zeigen, daß sich auch hier ein Komplex wasserarmer Hydrosole befinden kann.

6. Die Chromatophoren stellen Gelenkomplexe dar.

7. Die ultramikroskopischen Abbildungen der Stärkekörner widersprechen der für diese Körper von Nägeli angenommenen Micellarstruktur nicht. Beim Entstehen des Kleisters werden die Teilchen lichtschwächer. Der flüssige Kleister enthält bewegliche Teilchen, der erstarrte dagegen unbewegliche und sehr kleine.

8. Je besser die mechanischen und optischen (Glanz) Eigenschaften der Spinnfasern sind, desto optisch leerer ist ihre Struktur.

Wenn meine Ausführungen dazu beitragen sollten, daß Fachleute bei ihren Untersuchungen die Dunkelfeldbeleuchtung stärker berücksichtigen, so soll es mich freuen. Ich bin überzeugt, daß es ihnen gelingen wird, mit Hilfe der Dunkelfeldbeleuchtung noch zu wichtigen Resultaten zu gelangen.

X. Ultramikroskopische Literatur.

I. Lehrbücher.

1) Cotton, A. et Mouton, H., Les ultramicroscopes; les objects ultramicroscopiques. Masson, Paris (1906).

2) Zsigmondy, R., Zur Erkenntnis der Kolloide. Gustav Fischer, Jena (1905).

3) — Über Kolloidchemie. Joh. Ambr. Barth, Leipzig (1906).

4) — Colloids and the Ultramikroscope. Transl. by J. Alexander, New-York (1909).

II. Physikalische Untersuchungen.

5) Bechold, H., Ultrafiltration. a) Biochem. Zeitschr., Bd. VI, S. 376—408 (1907). — b) Umschau, Bd. XII, S. 48—53 (1908). — c) Kolloid.-Zeitschr., Bd. III, S. 226 bis 228 (1908).

6) — Die Gallertfiltration (Ultrafiltration). Zeitschr. f. Industr. Chem. Kolloide, Bd. II, S. 3—9 u. 33—41 (1907).

7) — Durchlässigkeit von Ultrafiltern. Zeitschr. f. physik. Chemie, Bd. LXIV, S. 328 bis 342 (1908).

8) Broglie, de, Sur l'examen ultramicroscopique des centres chargés en suspension dans les gazes. C. R., T. CXLVI, p. 1010—1011 (1908).

9) Cotton, A. et Mouton, H., Nouveau procédé pour mettre en évidence des objects ultramicroscopiques. a) C. R., T. CXXXVI, p. 1657—1659 (1903). — b) Bull. soc. franç. physique, p. 54—56 (1903).

10) — Étude directe du transport dans le courant des particules ultramicroscopiques. C. R., T. CXXXVIII, p. 1584—1586 (1904).

11) — Transport dans le courant des particules ultramicroscopiques. C. R., T. CXXXVIII, p. 1692—1694 (1904).

12) — Sur le phénomène de Majorana. C. R., T. CXLI, p. 317—319 (1905).

13) — Sur la biréfringence magnétique. Nouveaux liquides actifs. C. R., T. CXLI, p. 349 bis 351 (1905).

14) — Sur la biréfringence magnétique des liquides hétérogènes. Bull. soc. franç. physique, p. 99*—101* (1905).

15) Ehrenhaft, F., Die diffuse Zerstreuung des Lichtes an kleinen Kugeln (ultramikroskopische Studie). Sitzungsber. d. Akad. Wiss. Wien, Bd. CXIV, S. 1115—1141 (1905).

16) — Die Brownsche Molekularbewegung in Gasen. Wien. Anzeig., S. 72—73 (1907).

17) — Über die der Brownschen Molekularbewegung in den Flüssigkeiten gleichartige Molekularbewegung in den Gasen und deren molekularkinetischer Erklärungsversuch. Wien. Anzeig., S. 331 (1907).

18) Fröhlich, J., Polarisation des gebeugten Lichtes. Teubner, Leipzig (1907).

19) Garnett, J. C. M., Colours in metall glasses and in metallic films. Trans. Roy. Soc. Lond. (Ser. A), T. CCIII, p. 385—420 (1904).

20) — Colours in metallic films and in metallic solutions II. a) Abstract. Proceed. Roy. Soc. Lond. (Ser. A), T. LXXVI, p. 370—373 (1905). — b) Trans. Roy. Soc. Lond. (Ser. A), T. CCV, p. 237—288 (1905).

21) Gaus, R. und Happel, H., Zur Optik kolloidaler Metallösungen. Ann. Physik (4), Bd. XXIX, S. 277—300 (1909).

22) Ignatowsky, W. v., Ein neuer Spiegelkondensor. Zeitschr. wiss. Mikrosk., Bd. XXV, S. 64—67 u. 438 (1908).

23) Kirchner, F. und Zsigmondy, R., Über die Ursachen der Farbenänderungen von Gold-Gelatine-Präparaten. Ann. Physik (4), Bd. XV, S. 573—595 (1904).

24) Kossonogow, J. J., Die Untersuchung der Elektrolyse mit Ultramikroskop (vorläufige Mitteilung). — Russisch. — Nachricht. Univers. S. Wladimir, Kiew, 15 S. (1908).

25) Mayer, A. und Salles, E., Sur le transport électriques des colloides inorganiques. C. R., T. CXLVI, p. 826—829 (1908).

26) Mie, G., Die optischen Eigenschaften kolloidaler Goldlösungen. Physik. Zeitschr., Bd. VIII, S. 769—773 (1907).

27) — Beiträge zur Optik trüber Medien, spez. kolloidaler Metallösungen. Ann. Physik (4 Bd. XXV, S. 377—445 (1908).

28) Müller, E., Das optische Verhalten der kolloidalen Metalle. Ann. Physik (4), Bd. XXIV, S. 1—24 (1907).

29) Perrin, J., La loi de Stokes et le mouvement Brownien. C. R., T. CXLVII, p. 475 bis 476 (1908).

30) — L'agitation moléculaire et le mouvement Brownien. C. R., T. CXLVI, p. 967—970 (1908).

31) Potzger, K., Die Beugungserscheinungen im Ultramikroskop. Ann. Physik (4), Bd. XXX, S. 185—224 (1909).

32) Prinz, W., Observations sur le sel gemme blanc et bleu. Bull. soc. Bélge Geolog., T. XXII, p. 63—82 (1908).

33) Reissig, J., Ultramikroskopische Beobachtungen. Erlanger Inaug.-Diss., Auszug. Ann. Physik (4), Bd. XXVII, S. 176—212 (1908).

34) Richarz, F., Bemerkung über Molekularbewegung und den zweiten Hauptsatz der Thermodynamik. Sitzungsber. Ges. Bef. Naturw. Marburg, S. 188—198 (1907).

35) Seddig, M., Über Abhängigkeit der Brownschen Molekularbewegung von der Temperatur. Sitzungsber. Ges. Bef. Naturw. Marburg, S. 182—188 (1907).

36) — Messung der Temperaturabhängigkeit der Brownschen Molekularbewegung. Habil.-Schrift. Frankfurt a. M. (1909).

37) Siedentopf, H., On the rendering visible of ultramicroscopic particles and of ultramicroscopic bacteria. Journ. Roy. microsc. Soc., p. 573—578 (1903).

38) — Über die physikalischen Prinzipien der Sichtbarmachung ultramikroskopischer Teilchen. S.-A. Berl. klin. Wochenschr., Nr. 32, 7 S. (1903).

39) — Ultramikroskopische Untersuchungen über Steinsalzfärbungen mit 1 farb. Taf. a) Verh. Deutsch. Physik. Ges., Bd. VII, S. 268—286 (1905); b) Physik. Zeitschr., Bd. VI, S. 855—866 (1905).

40) — Über ein neues physikalisch-chemisches Mikroskop (Mikroskopie bei hohen Temperaturen). Elektroch. Zeitschr., Bd. XII, S. 593—596 (1906).

41) — Über kolloidale Alkalimetalle (vorläufige Mitteilung). Elektroch. Zeitschr., Bd. XII, S. 635—637 (1906).

42) — Dunkelfeldbeleuchtung und Ultramikroskopie. Zeitschr. wiss. Mikrosk., Bd. XXIV, S. 13—20 (1907).

43) — Paraboloidkondensor. Eine neue Methode zur Sichtbarmachung und zur Moment-Mikrophotographie lebender Bakterien (insbesondere auch für Spirochaete pallida). a) Zeitschr. wiss. Mikrosk., Bd. XXIV, S. 104—108 (1907); b) Münch. med. Wochenschr., Bd. LIV, S. 1503—1504 (1907).

44) — Über künstlichen Dichroismus von blauem Steinsalz (vorläufige Mitteilung). a) Physik. Zeitschr., Bd. VIII, S. 850—852 (1907); b) Verh. Deutsch. Physik. Ges., Bd. IX, S. 621—623 (1907); c) Kolloid.-Zeitschr., Bd. II, S. 133—134 (1907).

45) — Die Vorgeschichte der Spiegelkondensoren. Zeitschr. wiss. Mikrosk., Bd. XXIV, S. 382—395 (1907).

46) — Über Spiegelkondensoren. Erwiderung an Herrn O. Heimstädt. Zeitschr. wiss. Mikrosk., Bd. XXV, S. 195—199 (1908).

47) — Über mikroskopische Beobachtungen bei Dunkelfeldbeleuchtung. Zeitschr. wiss. Mikrosk., Bd. XXV, S. 273—282 (1908).

48) — Die Sichtbarmachung von Kanten im mikroskopischen Bilde. Zeitschr. wiss. Mikrosk., Bd. XXV, S. 424—431 (1908).

49) — Über ultramikroskopische Abbildungen. Zeitschr. f. Physik, Bd. X, S. 778—780 (1909).

50) Siedentopf, H. und Zsigmondy, R., Über Sichtbarmachung und Größenbestimmung ultramikroskopischer Teilchen, mit besonderer Anwendung auf Goldrubingläser. Ann. Physik (4), Bd. X, S. 1—39 (1903).

51) — Über die Größenbestimmung ultramikroskopischer Teilchen. Verh. Deutsch. Physik. Ges., Bd. V, S. 209—216 (1903).

52) Smoluchowski, M. v., Molekular-kinetische Theorie der Opaleszenz von Gasen im kritischen Zustande, sowie einiger verwandter Erscheinungen. Ann. Physik (4), Bd. XXV, S. 205—226 (1908).

53) Spezia, G., Über das metallische Natrium als die angebliche Ursache der natürlichen blauen Farbe des Steinsalzes. Zentralbl. f. Mineralog. S. 398—404 (1909).

54) Spence, B. J., Colloidal solutions and the refractive indices of gold, platinum and silver. Physical Rewiew, T. XXVIII, p. 233—263 (1909).

55) Wesendonk, K. v., Über den zweiten Hauptsatz der Wärmetheorie und die sogenannten Molekularbewegungen. Naturw. Rundschau, Bd. XXII, S. 262—263 (1907).

III. Chemische und technologische Untersuchungen.

56) Biltz, W. (gemeinschaftlich mit Gahl, W.), Ultramikroskopische Beobachtungen I. Über die Ausscheidung des Schwefels aus der Thioschwefelsäure und des Selens aus der selenigen Säure. Nachr. Ges. Wiss. Göttingen. Math.-physik. Kl., Heft 4, 11 S. (1904).

57) Biltz, W. (gemeinschaftlich mit Geibel, W.), Ultramikroskopische Beobachtungen II. Zur Charakterisierung anorganischer Kolloide. Nachr. Ges. Wiss. Göttingen. Math.-physik. Kl., Heft 2, 16 S. (1906).

58) Biltz, W., Einige Versuche über ultramikroskopische Löslichkeitsbestimmungen. Zeitschr. f. physik. Chem., Bd. LIX, S. 288—292 (1907).

59) Bredig, G., Über heterogene Katalyse und ein neues Quecksilberoxyd. Elektroch. Zeitschr., Bd. XII, S. 585 (1906).

60) Burton, E. F., On the Properties of elektrically prepared colloidal Solutions. Phil. Mag., T. VI, p. 425—447 (1906).

61) Burton, E. F. und Philipps, P., Magnetisierbarkeit des Eisens in kolloidalen Lösungen. Proc. Cambr. Philos. Soc., T. XIII, p. 260—268 (1906). Ref. Naturw. Rundschau, Bd. XXI, S. 476 (1906).

62) Dumanski, A., Ultramikroskopische Untersuchungen des Eisenhydroxydhydrosols. Kolloid.-Zeitschr., Bd. II, S. 810—812 (1907).

63) Frendlich, H. und Neumann, N., Zur Systematik der Farbstofflösungen. Kolloid.-Zeitschr., Bd. III, S. 80—83 (1908).

64) Holde, Über kolloide Lösungen von Kalkseifen in schweren Mineralölen. Kolloid.-Zeitschr., Bd. III, S. 270—274 (1908).

65) — Über den physikalischen Zustand von Maschinenfetten, öligen Kalkseiflösungen und schweren Mineralölen. Zeitschr. angew. Chemie, Bd. XXI, S. 2128—2135 (1908).

66) Menz, W., Über Zustandsänderungen der Gelatinelösungen, Bestimmung ihrer Goldzahl und ultramikroskopische Beobachtungen. Zeitschr. f. physik. Chem., Bd. LXVI, S. 129—137 (1909).

67) Neuhauß, R., Ultramikroskopische Untersuchungen unbelichteter und belichteter Bildschichten. Photogr. Rundschau und Photogr. Zentralbl., Bd. XIX, S. 308—310 (1905).

68) — Ausbleichverfahren. Photogr. Rundschau und Photogr. Zentralbl., Bd. XX, S. 15 bis 18 (1906).

69) Pelet-Jolivet und Wild, A., Untersuchungen über die Farbstoffe in Lösung. Kolloid.-Zeitschr., Bd. III, S. 174—177 (1908).

70) Sabanejew, A., Über Kolloide und Ultramikroskopie. Journ. Russ. Physiko-Chem. Ges., Bd. XXXVIII, S. 163 (1906).

71) Scarpa, O., Una semplice disposizione per le osservazioni ultramicroscopiche e alcune esperience sulle soluzioni colloidale e i loro coaguli. Archivio di fisiologica, T. II, p. 321—326 (1905).

72) — Richerche magnetiche e ottiche su alcuni colloidi magnetici. Associazione elettrotecnica italiana, IX. Congr. in Firenze. Roma, p. 1—52 (1905). Il nuove cimente,

T. XI, p. 80—113 und 162—185 (1906). Ref. Naturw. Rundschau, Bd. XXI, S. 664—666 (1906).

73) Schneider, J. und Just, J., Ultramikroskopie der Oleosole. Zeitschr. wiss. Mikrosk., Bd. XXII, S. 481—530 (1905).

74) Schneider, J. und Kunzl, G., Spinnfasern und Färbungen im Ultramikroskop. Zeitschr. wiss. Mikrosk., Bd. XXIII, S. 393—409 (1906).

75) Svedberg, The., Über die Eigenbewegung der Teilchen in kolloidalen Lösungen. Zeitschr. Elektrotech., Bd. XII, S. 853—860 u. 909—910 (1906).

76) — Über die Bedeutung der Eigenbewegung der Teilchen in kolloidalen Lösungen für die Beurteilung der Gültigkeitsgrenzen des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik. Zeitschr. f. physik. Chemie, Bd. LIX, S. 451—458 (1907).

77) — Studien zur Lehre von den kolloidalen Lösungen. Nova Acta Soc. Upsaliensis (4), Bd. II, S. 1—160 (1907).

78) — Diffusionsgeschwindigkeit und Teilchengröße disperser Systeme. Zeitschr. f. physik. Chem., Bd. LXV, S. 105—111 (1909).

79) — Über einen neuen Beweis für die körperliche Existenz der Moleküle. Zeitschr. f. physik. Chem., Bd. LXV, S. 624—633 (1909).

80) — Die Methoden zur Herstellung kolloider Lösungen anorganischer Stoffe. Th. Steinkopff, Dresden (1909).

81) Thomae, C., Neuerung an der Küvette des Ultramikroskops. Journ. f. prakt. Chem., Bd. LXXX, S. 390—392 (1909).

82) Wedekind, E., Über kolloidales Zirkonium. Kolloid.-Zeitschr., Bd. II, S. 4 (1908).

83) Weimarn, P. P. von, Ultramikroskopische Struktur der gallertartigen Niederschläge und Gallerte. (Russisch.) Journ. Russ. Physiko-Chem. Ges., Bd. XXXIX, S. 621 bis 622 (1907).

84) — Über die chemische Zusammenstellung mikro- und ultramikrokristallinischer Niederschläge. Journ. Russ. Physiko-Chem. Ges., Bd. XXXIX, S. 650 (1907).

85) — Über die Möglichkeit der Erweiterung der ultramikroskopischen Sichtbarkeitsgrenze. Kolloid.-Zeitschr., Bd. II, S. 175—176 (1907).

86) — Zur Lehre von den Zuständen der Materie. Kolloid.-Zeitschr., Bd. II, S. 199 bis 208, 230—237, LII, 275—284, 301—307; Bd. III, S. 282—304; Bd. IV, S. 27 bis 38, 123—139, 198—202, 315—317 usw. (1907—1909).

87) — Ultramikroskopische Untersuchungen kristallinischer Flüssigkeiten. Kolloid.-Zeitschr., Bd. IV, S. 59—62 (1909).

88) — Der kristallinisch-flüssige Zustand als allgemeine Eigenschaft der Materie. Kolloid.-Zeitschr., Bd. III, S. 166—168 (1908).

89) Zsigmondy, R., Über kolloidale Lösungen. Zeitschr. f. Elektroch., Bd. VIII, 4 S. (1902).

90) — Über amikroskopische Goldkeime. Zeitschr. f. physik. Chem., Bd. LVI, S. 65—76 (1906).

91) — Auslösung von silberhaltigen Reduktionsgemischen durch kolloidales Gold. Zeitschr. f. physik. Chem., Bd. LVI, S. 77—82 (1906).

92) — Über Teilchengrößen in Hydrosolen. Zeitschr. f. Elektroch., Bd. XII, S. 631—637 (1906).

IV. Medizinische und biologische Untersuchungen.

93) Aggazotti, A., Osservazioni ultramicroscopiche sui processi fermentativi. Zeitschr. f. allgem. Physiologie, Bd. VII, S. 862—884 (1907).

94) Arning, Ed., Demonstration des neuen Zeissschen Paraboloid- oder Spiegelkondensors für Dunkelfeldbeleuchtung. Deutsche med. Wochenschr., Bd. XXXIV (1), S. 308 (1908).

95) Arning, Ed. u. Klein, G., Die praktische Durchführung des Nachweises der Spirochaeta pallida im großen Krankenhausbetrieb. Deutsche med. Wochenschr., Bd. XXXIII, S. 1482—1487 (1907).

96) Beer, A., Über den Wert der Dunkelfeldbeleuchtung für die klinische Diagnose der Syphilis. Münch. med. Wochenschr., S. 1926—1929 (1907).

97) Behring, E. von, Tetanusvirus, Tetanusgift und Tetanusantitoxin. Beitr. z. experim. Therapie, Heft 7 (1904).

98) — Über ultramikroskopische Proteinuntersuchungen. Beitr. z. experim. Therapie, Heft 10, S. 2—9 (1905).

99) Comandon, L'ultramicroscope et la cinématographie. Presse medic., No. 94, p. 841 bis 844 (1909).

100) Davis, D. J., Ultramicroscopic observations on cerebrospinal fluid and blood. Trans. Chicago Path. Soc., T. VI, f. 7. nov. (1904). Ref. Bull. Instit. Pasteur, T. III, p. 700 (1905).

101) Dietrich, A., Die Bedeutung der Dunkelfeldbeleuchtung für Blutuntersuchungen. Berl. klin. Wochenschr., Nr. 31, 9 S. (1908).

102) — Rote Blutkörperchen bei Dunkelfeldbeleuchtung. Verh. d. Deutsch. Pathol. Ges., Bd. XII, S. 202—209, 1 Taf. (1908).

103) Dujardin-Beaumetz, E., Transmission de la péripneumonie des bovidés aux espèces ovine et caprine. Ann. Instit. Pasteur, T. XX, p. 466 (1906).

104) Eïsmond, J., Zur Frage über die Struktur des Protoplasmas. (Russisch.) Sitzungsber. d. Naturf. Ges. Univers. Warschau, 29 S. (1909).

105) Gaidukov, N., Über Untersuchungen mit Hilfe des Ultramikroskopes nach Siedentopf (vorläufige Mitteilung). Ber. Deutsch. Botan. Ges., Bd. XXIV, S. 107—112 (1906).

106) — Weitere Untersuchungen mit Hilfe des Ultramikroskopes nach Siedentopf (vorläufige Mitteilung). Ber. Deutsch. Botan. Ges., Bd. XXIV, S. 155—157 (1906).

107) — Über die ultramikroskopischen Eigenschaften der Protoplasten. Ber. Deutsch. Botan. Ges., Bd. XXIV, S. 192—194 (1906).

108) — Über die ultramikroskopische Untersuchung der Bakterien und über die Ultramikroorganismen. Bakteriol. Zentralbl., II. Abt., Bd. XVI, S. 667—672 (1906).

109) — Über die Anwendung des Ultramikroskopes nach Siedentopf zur Untersuchung lebender Objekte. Verh. Deutsch. Zool. Ges., S. 250—258 (1906).

110) — Ultramikroskopische Untersuchungen der Stärkekörner, Zellmembranen und Protoplasten. Ber. Deutsch. Botan. Ges., Bd. XXIV, S. 581—590 (1906).

111) — Demonstrationen an Zellstrukturen mit dem Ultramikroskope. Verh. Zool. Botan. Ges. Wien, Bd. LVII, S. 26—27 (1907).

112) — Die Ultramikroskopie an Zellen. Münch. med. Wochenschr., Bd. LIV, S. 1504 (1907).

113) — Tafel der Mikrophotogramme der Spinnfasern. Apparat: Das Ultramikroskop nach Siedentopf. Carl Zeiss, Jena (1907).

114) — Über die Anwendung des Ultramikroskopes nach Siedentopf und des Mikrospektralphotometers nach Engelmann in der Textil- und Farbenindustrie. Zeitschr. angew. Chem., Bd. XXI, S. 393—400, 1 Taf. (1908).

115) — Die Ultramikroskopie der Spinnfasern. Umschau, Bd. XII, S. 389—302, 1 Taf. (1908).

116) — Ultramikroskopische und mikrospektralphotometrische Untersuchungen der Spinnfasern. Zeitschr. f. Farbenindustrie, Bd. VII, S. 251—255, 267—272 (1908).

117) — Über Einrichtungen für Dunkelfeldbeleuchtung und Ultramikroskopie. Verhandl. Ges. Deutsch. Naturf. und Ärzte 79. Versamml. Dresden 1907, Bd. II, 1, S. 226 bis 228, Leipzig (1908).

118) Gatin-Gruzewska, Mme. Z. und Biltz, W., Ultramikroskopische Beobachtungen an Lösungen reinen Glykogens. a) Arch. ges. Physiol., Bd. CV, S. 115—120 (1904); b) C. R., Bd. CXXXIX, S. 507—509 (1904).

119) Gatin-Gruzewska, Mme., Mayer, A. und Schaeffer, G., Sur la structure ultramicroscopique des empois d'amidon et de leurs constituans. C. R. sc. Soc. Biolog., T. LXIV, p. 559—561 (1908).

120) Hoffmann, E., Spirochaete pallida lebend bei Dunkelfeldbeleuchtung. Deutsch. med. Wochenschr., Bd. XXXIII, S. 82—83 (1907).

121) Kreidl, A. und Neumann, A., Über einen neuen Formbestandteil in der Milch (Laktokonien). Wien. klin. Wochenschr., Bd. XXI, S. 214 (1908).

122) — Ultramikroskopische Beobachtungen über das Verhalten der Kaseinsuspensionen in der frischen Milch und bei der Gerinnung. Arch. ges. Physiol., Bd. CXXIII, S. 523 (1908).

123) Landsteiner und Mucha, Zur Technik der Spirochaetenuntersuchung. Wien. klin. Wochenschr., Nr. 45 (1906).

124) — Beobachtungen über Spirochaete pallida. Zentralbl. f. Bakteriol., I. Abt. Ref., Bd. XXXIX, S. 540—541 (1907).

125) Lemanissier, J., L'étude des corps ultramicroscopiques. Jules Rounet, Paris, 60 p. (1905).

126) London, E. S., Einfache Methode zur Beobachtung ultramikroskopischer Teilchen. Zentralbl. f. Bakteriol., I. Abt., Ref., Bd. XXXIV, S. 433 (1904).

127) Mayer, A., *Ultramikroskopische Studien über organische Kolloide, Globulin und Blutplasma* in: C. R. sc. Biolog., Bd. LXIII, S. 42, 184, 553, 621, 658 (1907); Ref. in Kolloid.-Zeitschr., Bd. III, S. 93, 99, 192 (1908).

128) Mayer, A. und Schaeffer, G., *Über die Struktur der Gele. Anwendung auf das Studium der Beschaffenheit des tierischen Protoplasmas und der Körperflüssigkeiten* in: C. R. sc. Biolog., Bd. LXIV, S. 681 (1908); Ref. in Kolloid.-Zeitschr., Bd. III, S. 99 (1908).

129) Michaelis, L., Ultramikroskopische Untersuchungen. Deutsch. med. Wochenschr., Nr. 42, 3 S. (1904).

130) — Ultramikroskopische Untersuchungen. Virch. Arch. patholog. Anat. und Physio . Bd. CLXXIX, S. 195—208 (1905).

131) — Über einige Eigenschaften der freien Farbbasen und Farbsäuren. Chem. Beiträge zur chem. Physiologie und Pathologie. Zeitschr. ges. Bioch., Bd. VIII, S. 38—50 (1906).

132) Michaelis, L. und Pincussohn, L., Zur Theorie der Kolloidumhüllung (ultramikroskopische Beobachtungen). Biochem. Zeitschr., Bd. II, S. 251—263 (1906).

133) Molisch, H., Über die Brownsche Molekularbewegung in Gasen, sichtbar gemacht durch ein gewöhnliches Mikroskop. a) Zeitschr. wiss. Mikrosk., Bd. XXIV, S. 97 bis 103 (1907); b) Verh. Deutsch. physik. Ges., Bd. V, S. 582—584 (1907).

134) — Über die Sichtbarmachung der Bewegung mikroskopisch kleinster Teilchen für das freie Auge. Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien, Bd. CXVI, Abt. I, S. 467—473 (1907).

135) — Über Ultramikroorganismen. a) Zeitschr. Chem. Industr. Kolloide, Suppl.-Heft, S 11 (1907); b) Botan. Zeit., S. 131—139 (1908).

136) Much, Römer und Siebert, Ultramikroskopische Untersuchungen. Zeitschr. diätet. und physik. Therapie, Bd. VIII, 12 S. (1904—1905).

137) Neumann, A., Über die Beobachtung des resorbierten Fettes im Blute mittels des Ultrakondensors. Zentralbl. f. Physiologie, Bd. XXI, S. 102—105 (1907).

138) — Laktokonien. Deutsche med. Wochenschr., Bd. XXXIV, S. 1376 (1908).

139) Otto, M. und Neumann, R. O., Studien über das gelbe Fieber in Brasilien. Leipzig, S. 49—64 (1906).

140) Pauli, W., Untersuchungen über physikalische Zustandsänderungen der Kolloide. IV. Hofmeister, Beitr. z. chem. Physiol. u. Pathol., Bd. VI, S. 260 (1906).

141) Peschel, M., Die strukturlosen Augenmembranen im Ultramikroskop. Graefes Arch., Bd. LX, S. 557—565 (1005).

142) Posner, C., Beobachtungen an menschlichen Sperma bei Dunkelfeldbeleuchtung. Berl. klin. Wochenschr., Bd. XXX, S. 1617 (1907).

143) — Die Verwendbarkeit der Dunkelfeldbeleuchtung in der klinischen Mikroskopie. Berl. klin. Wochenschr., Bd. XXXI, S. 1444—1447 (1908).

144) — Zur Kenntnis der menschlichen Spermien nach Untersuchungen mittels der Dunkelfeldbeleuchtung. Zeitschr. f. Urologie, Bd. II, S. 969—974, 1 Taf. (1908).

145) Posner, C. und Scheffer, W., Beiträge zur klinischen Mikroskopie und Mikrophotographie. 1. Posner, Untersuchungen über die Genitalsekrete des Mannes. Berl. klin. Wochenschr., Bd. XXXII, Nr. 6, 9 S. (1909).

146) Puccianti, L. e Vigezzi, E., Sulla osservazione delle particelle ultramicroscopiche. Archivio di fisiologia, T. II, p. 307—320 (1905).

147) Rählmann, E., Über ultramikroskopische Untersuchungen von Farbstoffen und ihre physikalisch-physiologische Bedeutung. a) Ophthalmolog. Klinik, Nr. 16, 8 S. (1903). — b) Techn. Mitteil. f. Malerei, Bd. XXI, Nr. 2 (1903).

148) — Weitere Mitteilungen über ultramikroskopische Untersuchung von Farbstoffen und ihre physikalisch-physiologische Bedeutung. a) Ophthalmolog. Klinik, Bd. XIX (1903). — b) Techn. Mitteil. f. Malerei, Bd. XXI, S. 33—35 (1903).

149) — Ultramikroskopische Untersuchungen über Farbstoffe und Farbstoffmischungen und deren physikalisch-physiologische Bedeutung. a) Physik. Zeitschr., Bd. IV, S. 884 bis 890 (1903). — b) Wien. med. Wochenschr., Nr. 42, 10 S. (1903).

150) — Über ultramikroskopische Untersuchung von Lösungen der Albuminsubstanzen und Kohlehydrate und eine neue optische Methode der Eiweißbestimmung bei Albuminurie. Münch. med. Wochenschr., Nr. 48, 6 S. (1903).

151) — Die ultramikroskopische Untersuchung nach H. Siedentopf und R. Zsigmondy und ihre Anwendung zur Beobachtung lebender Mikroorganismen. Münch. med. Wochenschr., Nr. 2, 7 S. (1904).

152) — Über ultramikroskopische Untersuchungen von Glykogen, Albuminsubstanzen und Bakterien. Berl. klin. Wochenschr., Nr. 8, 12 S. (1904).

153) Über ultramikroskopisch sichtbare Blutbestandteile. Deutsche med. Wochenschr., Nr. 29, 14 S. (1904).

154) — Über Trachom. Histologische, ultramikroskopische, physiologisch-chemische Beiträge zur Entzündungslehre. Beitr. z. Augenheilkunde, Heft 62, S. 1—84, mit 4 Tafeln (1905).

155) — Neue ultramikroskopische Untersuchungen über Eiweiß, organische Farbstoffe, über deren Verbindung und über die Färbung organischer Gewebe. Arch. ges. Physiol., Bd. CXII, S. 128—171 (1906).

156) — Zur Anatomie und Physiologie des Pigmentepithels der Netzhaut. Zeitschr. f. Augenheilkunde, Bd. XVII, 15 S. (1907).

157) Reicher, K., Über einige ultramikroskopische Beobachtungen. Deutsche med. Wochenschr., Bd. XXXIV (2), S. 1529 (1908).

158) Reichert, C., Beobachtungen der Geißeln von Bakterien im ungefärbten Zustande mit Hilfe des Spiegelkondensors. (Vorläufige Mitteilung.) Hyg. Rundsch., Bd. XVII, S. 1121—1125 (1907).

159) — Über die Sichtbarmachung der Geißeln und Geißelbewegungen der Bakterien. Zentralbl. f. Bakteriol., I. Abt., Bd. LI, S. 14—94 (1909).

160) Remlinger, P., Les Microbes filtrants. Bull. Instit. Pasteur, T. IV, p. 337—345 et 385—392 (1906).

161) Rosenthal, W., Beobachtungen an Hühnerblut mit stärksten Vergrößerungen und mit dem Ultramikroskop. Rosenthal Festschrift. Georg Thieme, Leipzig (1906).
162) Ruhland, W., Die Bedeutung der Kolloidnatur wässeriger Farbstofflösungen für ihr Eindringen in lebende Zellen. Ber. d. Deutsch. Botan. Ges., Bd. XXVI, S. 772 bis 782 (1908).
163) Scheffer, W., Einiges über das Arbeiten mit dem Paraboloidkondensor. Zeitschr. wiss. Mikrosk., Bd. XXV, S. 446—450, 1 Taf. (1908).
164) Siebert, C., Ultramikroskopische Bakterienphotogramme. Beitr. z. exper. Therapie, Heft 10, S. 35—38, mit 5 Tafeln (1905).
165) Spiethoff, B., Bericht über den derzeitigen Stand der Syphilisforschung. a) Korresp.-Blätter d. allgem. ärztl. Ver. Thüringen (1907). — b) Münch. med. Wochenschr., Bd. LIV, S. 1503 (1907).
166) Troester, C., Über Dunkelfeldbeleuchtung. Zentralbl. f. Bakteriol., II. Abt., Bd. XIV, S. 511—512 (1905).
167) Tswett, M., Zur Ultramikroskopie. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges., Bd. XXIV, S. 234 (1906).

V. Referate über die Ergebnisse der Ultramikroskopie und Beschreibung der Apparate.

168) Aron, H., Über organische Kolloide. Biochem. Zentralbl., Bd. III, S. 463 (1905).
169) Berg, W., Ultramikroskopie. Naturw. Rundsch., Bd. XXI, S. 353—355 (1906).
170) — Die Ergebnisse der Ultramikroskopie in bezug auf die Biologie. Sitzungsber. Ges. Naturf. Freunde, Berlin, S. 88—100 (1906).
171) Carl Zeiss, Jena, Gebrauchsanweisungen der Einrichtungen für Ultramikroskopie und Dunkelfeldbeleuchtung.

Bezeichnung Mikro

Heft 2. Ultramikroskopie für Zellen, Fasern, lebende Bakterien, Blut usw., 2. Ausgabe, 1907 228
„ 3. Ultramikroskopie für Kolloide. 2. Ausgabe 229
„ 4. Dunkelfeldbeleuchtung mit Paraboloidkondensor. 2. Ausgabe, 1908 . 230
„ 5. Einfache Dunkelfeldbeleuchtung durch Abblendung im Immersionskondensor 231
„ 6. Präparatenröhre zur künstlichen Färbung von Steinsalzkristallen mit metallischem Natrium 185

172) — Ultramikroskopische Literatur (Zentralbl. f. Gesamtgeb. Mediz. u. Hilfswiss. 1908) 194
173) Cotton, A. et Mouton, H., Les Objects ultramicroscopiques. Rev. gen. sc. pures et appliquées, T. XIV, p. 1184—1191 (1903).
174) Culmann, P., L'Ultramicroscope. Le micrographe Préparateur, T. XIII, p. 200—211 (1903).
175) Ehlers, J., Ultramikroskopie und Dunkelfeldbeleuchtung. Zentralbl. Gesamtgeb. Med. und Hilfswiss,, Nr. 3, 8 S. (1908).
176) Gascard, A., Le microscope et l'ultramicroscopie. Revue med. Normandie, p. 263 bis 270 (1905).
177) Gebhardt, W., Aus optischen und mechanischen Werkstätten. Zeitschr. wiss. Mikrosk., Bd. XXIV, S. 396—421 (1907).
178) Heimstädt, O., Neuerungen an Spiegelkondensoren. a) Zeitschr. wiss. Mikrosk., Bd. XXIV, S. 233—242 (1907); b) Kolloid.-Zeitschr., Bd. II, S. 274—280.
179) Hirsch, P., Das Ultramikroskop. Seine Einrichtung und seine Anwendung. Naturw. Wochenschr., Bd. XXI, S. 465—470 (1906); Physik. Zeitschr., Bd. VIII, S. 542 bis 549 (1907).

180) Lorentz, M. H., Das Licht und die Struktur der Materie. Physik. Zeitschr., Bd. VIII, S. 542—549 (1907).
181) Metz, C., Die Leitzsche Dunkelfeldbeleuchtung bei Anwendung der homogenen Ölimmersion. Zeitschr. wiss. Mikrosk., Bd. XXIII, S. 114—118 (1905).
182) Luppo-Cramer, Kolloidchemie und Photographie. Th. Steinkopff, Dresden (1908).
183) Michaelis, L., Über das Ultramikroskop und seine Anwendung in der Chemie. Zeitschr. angew. Chemie, Bd. XIX, S. 948—953 (1906).
184) — Physikalische Chemie der Kolloide. Koranyi-Richter Handb. d. phys. Chem., Bd. II (1908).
185) Müller, Art., Allgemeine Chemie der Kolloide. Handbuch angew. physik. Chemie, Bd. VIII, S. 18—26, Joh. Ambr. Barth, Leipzig (1907).
186) Müller-Pouillets Lehrbuch der Physik und Meteorologie. 10. Aufl. Von L. Pfaundler und O. Lummer, Bd. II, 1. Abt. Vieweg & Sohn, Braunschweig, S. 455—459 (1907).
187) Ostwald, W., Grundriß der allgemeinen Chemie, 4. Aufl. W. Engelmann, Leipzig. Bd. III, S. 540—551 (1909).
188) Ostwald, Wo., Grundriß der Kolloidchemie. Th. Steinkopff, Dresden (1909).
189) — Die Kolloidchemie auf der 79. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte, Th. Steinkopff, Dresden (1907).
190) — Abhandlungen zur reinen und angewandten Kolloidchemie. Th. Steinkopff, Dresden (1908).
191) Rählmann, E., Bisherige Resultate der ultramikroskopischen Untersuchungen. Zeitschrift ärztl. Fortbildung, Bd. I, 14 S. (1904).
192) Reichert, C., Neuer Spiegelkondensor zur Sichtbarmachung ultramikroskopischer Teilchen. a) Österr. Chemiker-Ztg., Bd. X (N. F.), S. 5—7 (1907). — b) Münch. med. Wochenschr., Bd. LIII, S. 2531—2533 (1907). — c) Zeitschr. angew. Mikrosk., Bd. XIII (1907). — d) Wien. klin. Wochenschr., Nr. 43 (1907).
193) Righi, A., Über die Struktur der Materie. J. Ambr. Barth, Leipzig (1908).
194) Rutherford, E., Die neuesten Fortschritte der Atomistik. Eröffnungsrede d. math. u. physik. Sektion der Brit. Association f. adv. of. Sc., Winnipeg 1909. Deutsch von W. Westphal und P. Pringsheim. Physik. Zeitschr., Bd. X, S. 762—771 (1909).
195) Siedentopf, H. und Zsigmondy, R., Die Sichtbarmachung und Größenbestimmung ultramikroskopischer Teilchen mit besonderer Anwendung auf Goldrubingläser. Naturw. Rundsch., Bd. XVIII, S. 365—367 (1903).
196) — Visibilité et mesure des particules ultramicroscopiques avec application spéciale aux verres rouges d'or. Arch. sc. physiques et nat. Genève (4), T. XVI, p. 129—138 (1903).
197) Steyer, K., Das Ultramikroskop. Mikrokosmos, Bd. I, S. 4—8 (1907).
198) — Die wissenschaftlichen Ergebnisse der Ultramikroskopie. Mikrokosmos, Bd. I, S. 18—23 (1907).
199) Straßburger, Noll, Schenk, Karsten, Lehrbuch der Botanik für Hochschulen. 8. Aufl. Gustav Fischer, Jena, S. 50 (1906).
200) Tafner, V., Az ultramikroskopról. Urania, p. 497—504 (1907).
201) Verney, L. J., I germi patogeni ultramicroscopici. Policlinico, Sez. pratica, Roma (1904).
202) Wood, R. W., Physical optics. Macmillan, New York, p. 492—495 (1905).

Druck von Ant. Kämpfe in Jena.

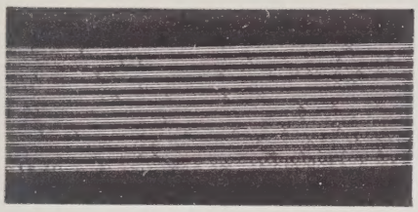
Tafel I.

Mikrophotogramme.

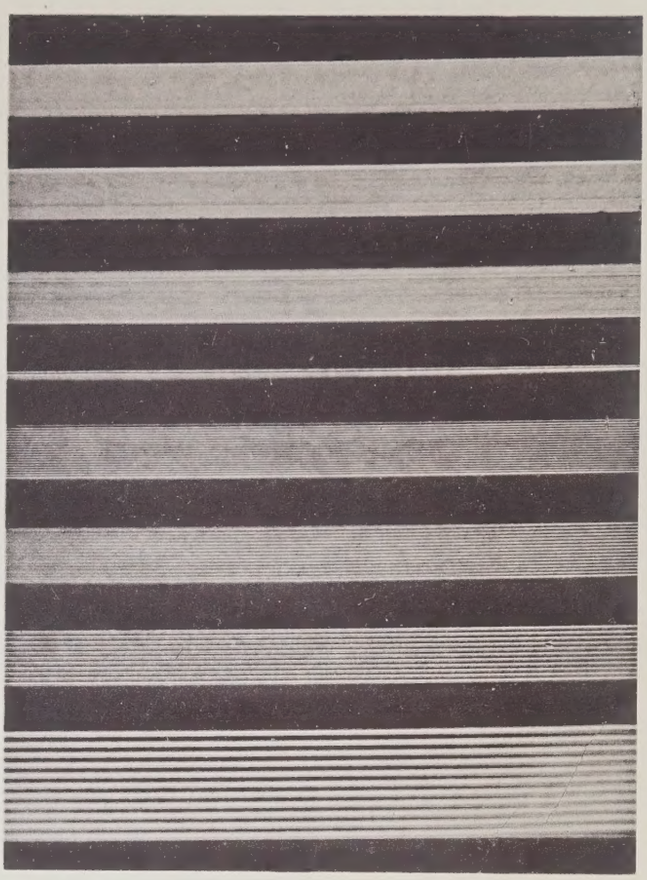
(Lichtquelle: elektrische Bogenlampe ca. 20 Amp.)

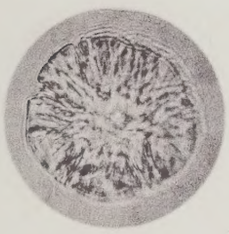
Nr.	Bezeichnung	Kondensor	Objektiv	Okular	Vergrößerung
1 a	Testplatte von Grayson, 1. Teil.	spez. Objektiv f. Dunkelfeldbeleuchtung	Apochromat, hom. Immersion 2 mm, n. Ap. 1,30 mit fester Blende	Projekt.-Okular 4	ca. 1000
1 b	do. 2. „	do.	do.	do.	„ 1000
1 c	do. 4. „	do.	do.	do.	„ 1000
2 a	do. 1. „	Paraboloidkondensor nach Siedentopf	Apochromat 4 mm mit Einhängeblende	do.	„ 500
2 b	do. 2. „	do.	do.	do.	„ 500
2 c	do. 3. „	do.	do.	do.	„ 500
2 d	do. 4. „	do.	do.	do.	„ 500
2 e	do. 5. „	do.	do.	do.	„ 500
2 f	do. 6. „	do.	do.	do.	„ 500
2 g	do. 7. „	do.	do.	do.	„ 500
3 a 4 a	Weizenstärkekörner (im Wasser)	Aplanatischer Kondensor	Apochromat, hom. Immersion 2 mm, n. Ap. 1,30	do.	„ 1000
3 b 4 b	do.	spez. Objektiv f. Dunkelfeldbeleuchtung	dasselbe mit fester Blende	do.	„ 1000
5 a, b, c	do. stark gequollen	Aplanatischer Kondensor	Apochromat, hom. Ölimmersion 2 mm, n. Ap. 1,40	do.	„ 1000
5 d	do. Bildung des Kleisters	spez. Objektiv f. Dunkelfeldbeleuchtung	dasselbe mit fester Blende	do.	„ 1000

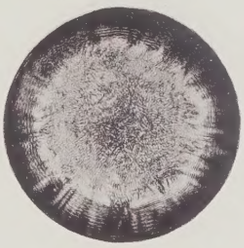
1a

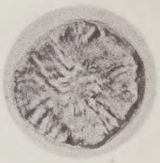

1b

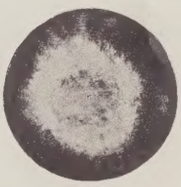
1c


2g
2f
2e
2d
2c
2b
2a


3a


3b

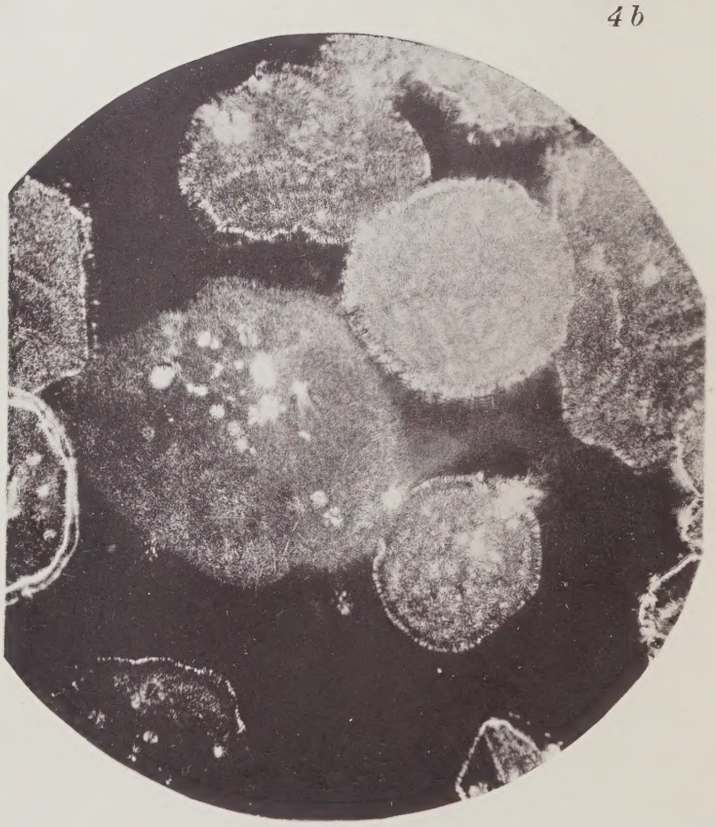

4a


4b

5a

5b

5c


5d

*Verlag von **Gustav Fischer** in **Jena**.*

Crayondruck von J. B. Obernetter, München.

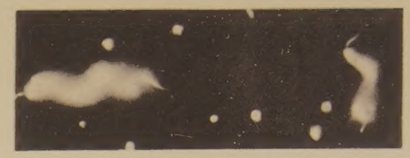
Tafel II.

Mikrophotogramme.

(Lichtquelle: elektrische Bogenlampe ca. 20 Amp.)

Nr.	Bezeichnung	Kondensor	Objektiv	Okular	Vergrößerung
1 a, b, c	Spirillum Undula in physiologischer ClNa-Lösung	Paraboloidkondensor nach Siedentopf	Apochromat 4 mm	Projekt.-Okular 4	ca. 1000
2 a	Spirogyra sp. in physiologischer ClNa-Lösung	gewöhnlicher Kondensor	do.	do.	„ 500
2 b	Spirogyra sp. in physiologischer ClNa-Lösung	spez. Objektiv f. Dunkelfeldbeleuchtung	dasselbe mit fester Blende	do.	„ 500
3 a	Spirogyra sp. in physiologischer ClNa-Lösung	Paraboloidkondensor nach Siedentopf	Apochromat 4 mm	do.	„ 500
3 b	Spirogyra sp. in physiologischer ClNa-Lösung	spez. Objektiv f. Dunkelfeldbeleuchtung	dasselbe mit fester Blende	do.	„ 500
4 a	Spirogyra crassa in destilliertem Wasser	do.	do.	Projekt.-Okular 2	„ 125
4 b	Spirogyra crassa in destilliertem Wasser	do.	do.	Projekt.-Okular 4	„ 250
5	Blumenstaubhaar von Tradescantia virginica in destilliertem Wasser	do.	do.	Projekt.-Okular 2	„ 150
6	Oscillaria sancta, zerquetscht, in destilliertem Wasser	do.	Apochromat, hom. Immersion 2 mm, n. Ap. 1,40 mit fester Blende	do.	„ 250
7	Pleurosigma angulatum im Realgar	do.	do.	Projekt.-Okular 4	„ 2000

1 a

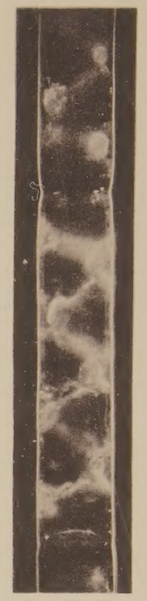


1 b

1 c

2 a

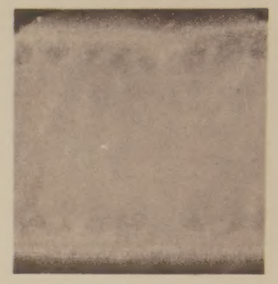
2 b



3 a

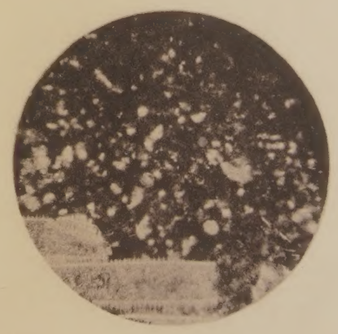
3 b

4 a

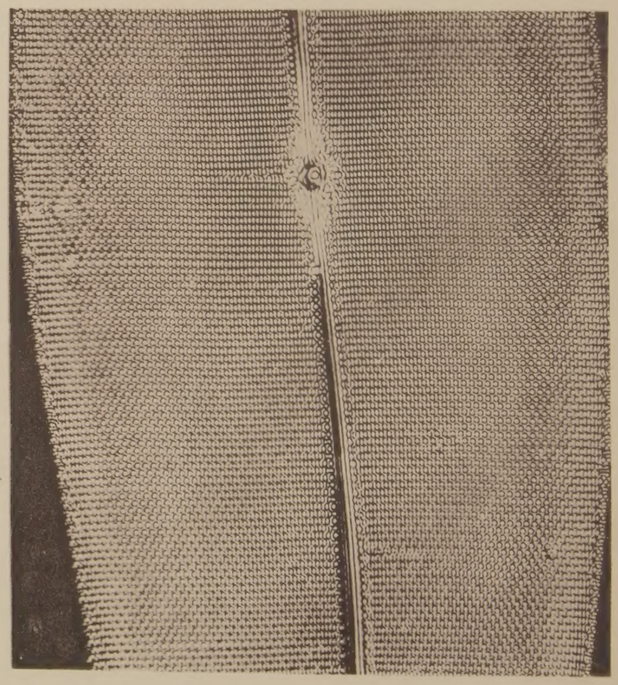


4 b

5



6



7

Verlag von ***Gustav Fischer*** *in Jena.*

Crayondruck von J. B. Obernetter, München.

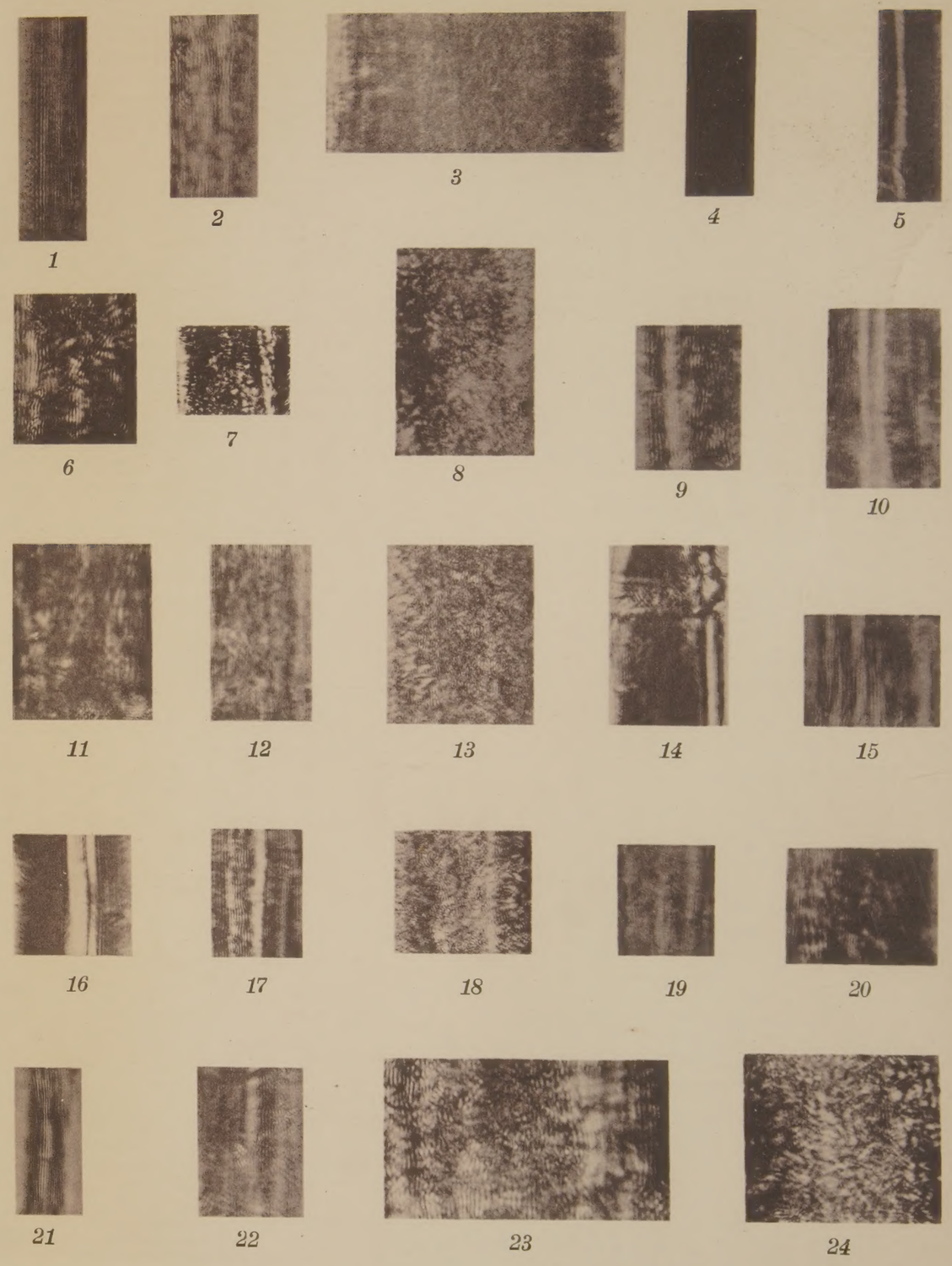
Tafel III.

Mikrophotogramme der Spinnfasern.

Apparat: Ultramikroskop nach Siedentopf (spez. Kondensor für Dunkelfeldbeleuchtung, Apochromat 2 mm, n. Ap. 1,30 mit fester Blende).

Lichtquelle: elektrische Bogenlampe ca. 20 Amp.

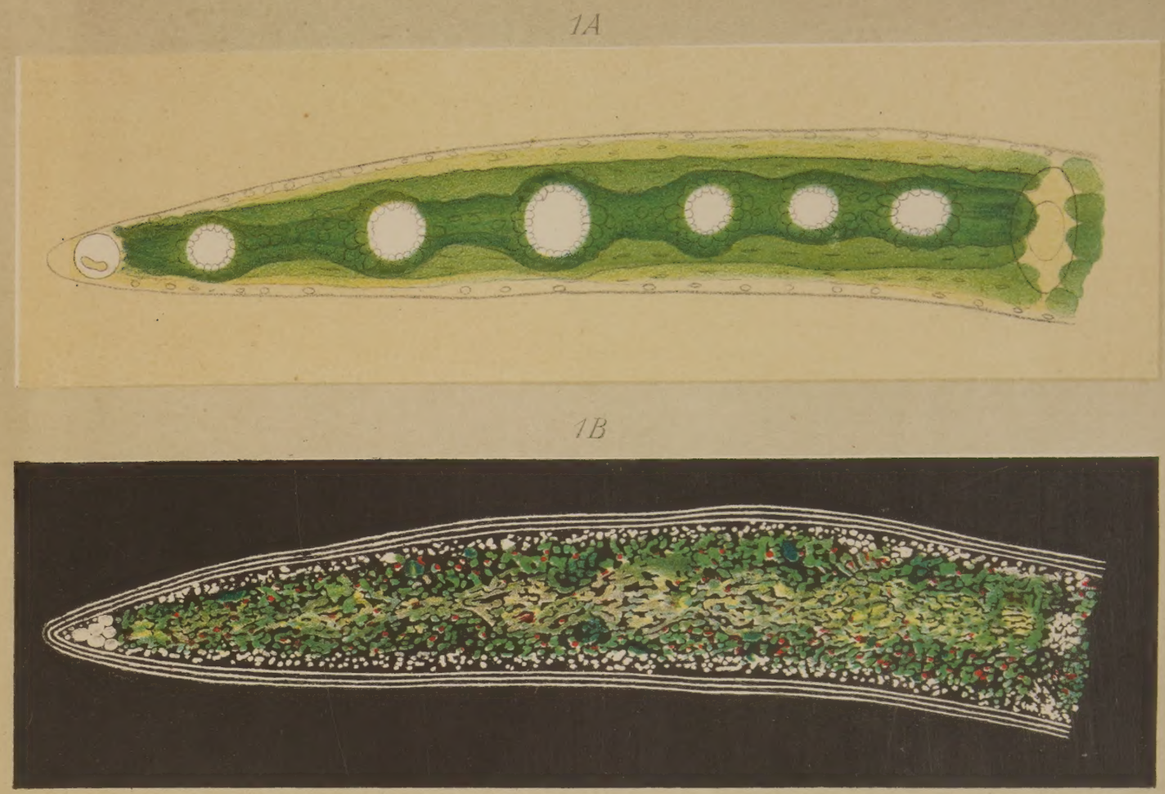
Nr.	Bezeichnung	Expositionsdauer in Sek.	Vergrößerung
1	Rohseide	50	ca. 1000
2	„ mit Nilblau gefärbt	35	„ 1000
3	Kunstseide	30	„ 1000
4	Glasgespinst	60	„ 1000
5	Feinste amerikanische Baumwolle (Moe Schown Cotton)	40	„ 1000
6	Amerikanische Baumwolle	30	„ 1000
7	Baumwolle, gebleicht	40	„ 500
8	„ gebeizt mit Tannin-Brechweinstein	40	„ 1000
9	Feine amerikanische Baumwolle (Upland Cotton)	40	„ 1000
10	Ägyptische Baumwolle	40	„ 1000
11	Flachs aus Esthland	55	„ 1000
12	Italienischer Flachs	40	„ 1000
13	Leinen (Indigo-Bad 20 %)	30	„ 1000
14	Polnischer Reinhanf	60	„ 1000
15	Ramie, Rohfaser	15	„ 1000
16	Jute, roh	60	„ 1000
17	„ Gewebe	40	„ 1000
18	„ Baumwollblau 1,25 %, Alaun 10 %	30	„ 1000
19	Ramie, Zug extra I	30	„ 1000
20	„ präparierte Faser	30	„ 1000
21	„ mit 0,02 % Thioninblau gefärbt	15	„ 1000
22	„ Garn weiß	60	„ 1000
23	„ Garn	40	„ 2000
24	„ Zug extra I, anormale Struktur	30	„ 1000



Verlag von ***Gustav Fischer*** *in* ***Jena.***

Tafel IV.

Nr.	Bezeichnung	Kondensor	Objektiv	Gezeichnet nach	Vergrößerung
1	Closterium acerosum:				
1a	Hellfeldbeleuchtung	Kondensor n. Ap. 1,40	Apochromat 4 mm	Autochromaufnahme	ca. 500
1b	Dunkelfeldbeleuchtung	spez. Kondensor für Dunkelfeldbeleuchtung	dasselbe mit fester Blende	Autochromaufnahme und subjektiver Beobachtung	„ 500
2	Oscillaria sancta:				
2a	Hellfeldbeleuchtung	Kondensor n. Ap. 1,40	Apochromat, hom. Immersion 2 mm, n. Ap. 1,30	Autochromaufnahme und subjektiver Beobachtung (Vergrößerung)	„ 2000
2b	Dunkelfeldbeleuchtung	spez. Kondensor für Dunkelfeldbeleuchtung	dasselbe mit fester Blende	do.	„ 2000
3	Porphyridium cruentum:				
3a	Hellfeldbeleuchtung	Kondensor n. Ap. 1,40	Apochromat, hom. Immersion 2 mm, n. Ap. 1,30	do.	„ 3000
3b	Dunkelfeldbeleuchtung	spez. Kondensor für Dunkelfeldbeleuchtung	dasselbe mit fester Blende	do.	„ 3000
4	Oscillaria sp.:				
4a	Hellfeldbeleuchtung	Kondensor n. Ap. 1,40	Apochromat 2 mm, n. Ap. 1,30	do.	„ 2000
4b	Dunkelfeldbeleuchtung	spez. Kondensor für Dunkelfeldbeleuchtung	dasselbe mit fester Blende	do.	„ 2000
5	Spermatozoid von Volvox Globator:				
5a	Hellfeldbeleuchtung	Kondensor n. Ap. 1,40	Apochromat 4 mm, mit fester Blende	subjektiver Beobachtung	„ 1000
5b	Dunkelfeldbeleuchtung	spez. Kondensor für Dunkelfeldbeleuchtung	do.	do.	„ 1000



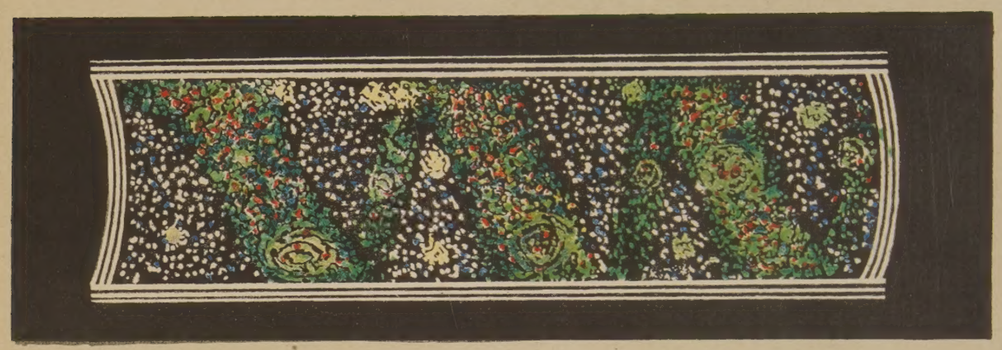
Verlag von Gustav Fischer in Jena. Lith. Anst. v. A. Giltsch, Jena.

Tafel V.

Nr.	Bezeichnung	Kondensor	Objektiv	Gezeichnet nach	Vergrößerung
1	Spirogyra sp.:				
1a	Hellfeldbeleuchtung	gewöhnlich	Apochromat 4 mm	Autochromaufnahme (Vergrößerung)	ca. 1000
1b	Dunkelfeldbeleuchtung	spez. Kondensor für Dunkelfeldbeleuchtung	dasselbe mit fester Blende	Autochromaufnahme und subjektiver Beobachtung	„ 1000
2	Vaucheria sessilis, zerdrückt:				
2a	Hellfeldbeleuchtung	gewöhnlich	Apochromat, hom. Immersion 2 mm n. Ap. 1,30	subjektiver Beobachtung	„ 500
2b	Dunkelfeldbeleuchtung O: Öltröpfchen p: Plasmaklümpchen c: 1. Schicht d: 2. Schicht e: 3. Schicht.	spez. Kondensor für Dunkelfeldbeleuchtung	dasselbe mit fester Blende	do.	„ 500
3	Keimung der Zoospore eines Myxomycetes:				
3a	Hellfeldbeleuchtung	gewöhnlich	Achromat D mit fester Blende	do.	„ 1000
3b	Dunkelfeldbeleuchtung	spec. Kondensor für Dunkelfeldbeleuchtung	do.	do.	„ 1000
4a	Chlorophyllauszug (96 % Alkohol), unverdünnt	spec. Kondensor für Dunkelfeldbeleuchtung	Achromat D* mit Küvette	—	—
4b	do. schwach mit Wasser verdünnt	Paraboloidkondensor	Apochromat 4 mm	—	—
4c	do. stark mit Wasser verdünnt	do.	do.	—	—

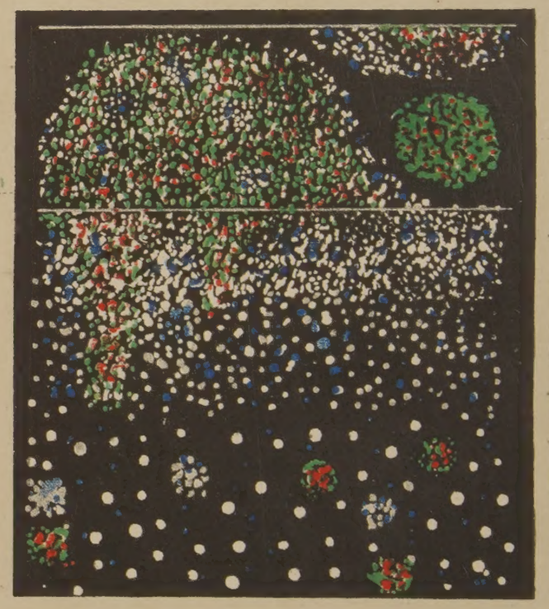
1A

1B



2A

2B



3A

3B

4A

4B

4C

Verlag von Gustav Fischer in Jena. Lith. Anst. v. A. Giltsch, Jena.

Biol.
Micros.

12069S

Author Gaidukov, N.

Title Dunkelfeldbeleuchtung und Ultramikroskopie in der Biologie und in der Medizin.

UNIVERSITY OF TORONTO
LIBRARY

Do not
remove
the card
from this
Pocket.

Acme Library Card Pocket
Under Pat. "Ref. Index File."
Made by LIBRARY BUREAU